

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ЦЕНТР МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МГУ ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА»  
(ООО «ЦМИ МГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «ЦМИ МГУ»



Д.В. Корост

2021 г.

Итоговый отчёт  
О результатах выполнения  
КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ МОНИТОРИНГА  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ  
АКВАТОРИИ МОРСКОГО ПОРТА САБЕТТА ДЛЯ РАННЕГО  
ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВСЕЛЕНИЯ  
ОПАСНЫХ ЧУЖЕРОДНЫХ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ В 2021–2023  
ГОДАХ В 2021 ГОДУ

Этап 2. Камерально-аналитические работы 2021 года

Договор № 770/21-ЯСПГ от «2» июля 2021 г.  
Между ООО «ЦМИ МГУ» и ОАО «Ямал СПГ»

г. Москва, 2021

## Список исполнителей

ФИО	Организация	Роль в проекте
Коновалова Ольга Петровна	ООО «ЦМИ МГУ»	Управление НИР: заместитель руководителя
Рогожин Владимир Сергеевич	ООО «ЦМИ МГУ»	Управление НИР: научный сотрудник
Калениченко Владислав Олегович	ООО «ЦМИ МГУ»	Управление ПИР: Начальник отдела экологии
Кокорин Александр Игоревич	ООО «ЦМИ МГУ»	Управление НИР: Заместитель руководителя лаборатории гидробиологии
Скавинская Надежда Юрьевна	ООО «ЦМИ МГУ»	Управление ПИР: геолог
Мардашова Мария Валерьевна	ООО «ЦМИ МГУ»	Управление НИР: научный сотрудник
Эрендженова Айса Аркадьевна	ООО «ЦМИ МГУ»	Управление ГИТ: Старший картограф

## Содержание

Список рисунков и таблиц.....	5
Список сокращений.....	8
<b>Введение .....</b>	<b>9</b>
1.1.    Цель работ .....	10
1.2.    Район работ.....	11
1.3.    Физико-географическая характеристика .....	12
1.4.    Климатическая характеристика.....	13
1.5.    Характеристика состояния окружающей среды .....	16
1.5.1.    Характеристика качества донных отложений .....	16
1.5.2.    Фитопланктон .....	20
1.5.3.    Зоопланктон .....	22
1.5.4.    Ихтиопланктон .....	23
1.5.5.    Зообентос .....	24
1.6.    Оценка экологического состояния акватории порта Сабетта с точки зрения контроля риска вселения чужеродных видов с балластными водами .....	28
1.6.1.    Обрастания причальных сооружений .....	28
1.6.3.    Зоопланктон .....	29
1.6.4.    Ихтиопланктон .....	31
1.6.5.    Макрзообентос.....	31
<b>2.    Виды и объемы работ.....</b>	<b>35</b>
2.1.    Экспедиционные работы.....	35
2.2.    Камеральная обработка .....	36
2.3.    Объем работ.....	36
Информационно-измерительная сеть станций.....	37
<b>3.    Организация работ.....</b>	<b>39</b>
3.1.    Экспедиционные суда .....	39
3.2.    Технические средства и оборудование .....	41
<b>4.    Методика выполнения работ .....</b>	<b>43</b>
4.1.    Экспедиционные работы.....	43
4.1.1.    Последовательность выполнения работ на станциях .....	43
4.1.2.    Гидрологические исследования .....	44
4.1.3.    Исследование качества донных отложений.....	45
4.1.4.    Гидробиологические исследования .....	48
4.2.    ДНК-исследования балластных вод.....	52
4.3.    Контроль обрастания в порту Сабетта.....	52
<b>5.    Результаты работ .....</b>	<b>54</b>
5.1.    Характеристика качества донных отложений.....	54

5.1.1. Гранулометрический состав .....	54
5.1.2. Содержание загрязняющих веществ .....	56
5.2. Гидробиологическая характеристика акватории; .....	61
5.2.1. Фитопланктон .....	61
5.2.2. Ихтиопланктон .....	84
5.2.3. Макрозообентос .....	84
5.2.4. Зоопланктон .....	93
5.3. Оценка экологического состояния акватории порта Сабетта с точки зрения контроля риска вселения чужеродных видов с балластными водами .....	97
5.3.1. Оценка степени обрастания портовых сооружений .....	97
5.3.2. ДНК-исследования балластных вод на предмет видов-вселенцев .....	102
5.3.3. Фитопланктон .....	103
5.3.4. Зоопланктон .....	103
5.3.5. Ихтиопланктон .....	103
5.3.6. Макрозообентос .....	103
5.4. Рекомендации соответствующих мер для управления рисками вселения чужеродных видов с судовыми балластными водами. ....	104
<b>Заключение .....</b>	<b>106</b>
<b>6. Техника безопасности и охрана окружающей среды .....</b>	<b>109</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>114</b>
<b>Приложения .....</b>	<b>120</b>
Приложение А. Копия Технического задания .....	120
Приложение Б. Аттестат аккредитации ООО «Лаборатория» .....	121
Приложение В. Акт мобилизации .....	122
Приложение Г. Акт демобилизации .....	123
Приложение Д. Акты отбора проб .....	124
Приложение Д 1. Акт выполнения океанографических исследований .....	124
Приложение Д 2. Акт отбора проб донных отложений .....	125
Приложение Д 3. Акт отбора проб ихтиопланктона .....	126
Приложение Д 4. Акт отбора проб фитопланктона .....	127
Приложение Д 5. Акт отбора проб на хлорофилл «А» .....	128
Приложение Д 6. Акт отбора проб на определение первичной продукции фитопланктона .....	129
Приложение Д 7. Акт отбора проб макрозообентоса .....	130
Приложение Д 8. Акт отбора проб зоопланктона .....	131
Приложение Е. Акты ежедневной отчётности .....	132
Приложение Ж. Протокол лабораторных измерений образцов донных отложений .....	133

## Список рисунков и таблиц

### Рисунки

<b>Рис. 1.2 - 1.</b>	Карта фактических координат станций полевых работ в акватории порта Сабетта.	11
<b>Рис. 1.5 - 1.</b>	Гистограмма гранулометрического состава донных отложений на станциях ЯСПГ 1 – ЯСПГ 50.....	16
<b>Рис. 1.5 - 2.</b>	Гистограмма гранулометрического состава донных отложений на станциях ЯСПГ 51 – ЯСПГ 100.....	17
<b>Рис. 1.5 - 3.</b>	Пространственное распределение типов донных отложений .....	18
<b>Рис. 1.5 - 4.</b>	Вклад в видовое разнообразие различных таксономических групп фитопланктона Обской губы в августе 2019 г. ....	21
<b>Рис. 1.5 - 5.</b>	Суммарное процентное соотношение отдельных видов ихтиопланктона в зоне влияния проекта «Ямал СПГ» .....	23
<b>Рис. 1.5 - 6.</b>	Работа с CTD-зондом YSI Castaway Процентное соотношение отдельных видов ихтиопланктона на станциях мониторинга (без учета пустых станций) .....	24
<b>Рис. 1.5 - 7.</b>	Сообщества макрозообентоса, выделенные статистическими методами ....	27
<b>Рис. 3.1 - 1.</b>	Рисунок 3.1 – ИС «Картеш».....	39
<b>Рис. 4.1 - 1.</b>	Работа с CTD-зондом YSI Castaway.....	45
<b>Рис. 4.1 - 2.</b>	Отбор донных отложений дночерпателем «Океан-0,1».....	46
<b>Рис. 4.1 - 3.</b>	Рисунок 4.3 – Отбор проб морской воды батометром Нискина, закрывающимся с помощью посыльного груза .....	48
<b>Рис. 4.1 - 4.</b>	Камера обратной фильтрации.....	49
<b>Рис. 4.1 - 5.</b>	Отбор проб зоопланктона сетью Джеди.....	50
<b>Рис. 4.1 - 6.</b>	Планктонные организмы, характерные для изученного района: А. – Cyclopoida: <i>Oithona similis</i> ; Б. – Calanoida: <i>Calanus finmarchicus</i> .....	51
<b>Рис. 5.1 - 1.</b>	Гистограммы гранулометрического состава донных отложений акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г (размер частиц в мм). ....	55
<b>Рис. 5.1 - 2.</b>	Фотография алеврита песчаного, отобранного в районе работ .....	55
<b>Рис. 5.1 - 3.</b>	Картосхема распределения концентраций меди, мышьяка и свинца в акватории порта Сабетта в 2021 году.....	58
<b>Рис. 5.1 - 4.</b>	Картосхема распределения концентраций никеля, хрома и цинка в акватории порта Сабетта в 2021 году.....	58
<b>Рис. 5.1 - 5.</b>	Картосхема распределения концентраций кадмия и ртути в акватории порта Сабетта в 2021 году. ....	59
<b>Рис. 5.2 - 1.</b>	Таксономический состав фитопланктона, %.....	61
<b>Рис. 5.2 - 2.</b>	Вклад таксономических групп в видовое богатство ФП в поверхностном горизонте, абс. ....	62
<b>Рис. 5.2 - 3.</b>	Численность фитопланктона на разных станциях поверхностного горизонта	63
<b>Рис. 5.2 - 4.</b>	. Биомасса фитопланктона на разных станциях поверхностного горизонта	63
<b>Рис. 5.2 - 5.</b>	Вклад таксономических групп в численность (N) и биомассу (B) ФП в поверхностном горизонте на разных станциях .....	64
<b>Рис. 5.2 - 6.</b>	Вклад таксономических групп в видовое богатство ФП в промежуточном горизонте, абс. ....	66
<b>Рис. 5.2 - 7.</b>	Численность фитопланктона на разных станциях промежуточного горизонта	67
<b>Рис. 5.2 - 8.</b>	Биомасса фитопланктона на разных станциях промежуточного горизонта	67
<b>Рис. 5.2 - 9.</b>	Вклад таксономических групп в численность (N) и биомассу (B) ФП в промежуточном горизонте на разных станциях.....	68

<b>Рис. 5.2 - 10.</b>	Вклад таксономических групп в видовое богатство ФП в придонном горизонте, абс. ....	70
<b>Рис. 5.2 - 11.</b>	Численность фитопланктона на разных станциях придонного горизонта ..	71
<b>Рис. 5.2 - 12.</b>	Биомасса фитопланктона на разных станциях придонного горизонта .....	71
<b>Рис. 5.2 - 13.</b>	Вклад таксономических групп в численность (N) и биомассу (B) ФП в придонном горизонте на разных станциях. ....	72
<b>Рис. 5.2 - 14.</b>	Рис. картосхема распределения численности фитопланктона (млн.кл. /куб.м.) в акватории порта Сабетта в 2021 году. ....	74
<b>Рис. 5.2 - 15.</b>	Рис. картосхема распределения биомассы фитопланктона (млн.кл. /куб.м.) в акватории порта Сабетта в 2021 году. ....	75
<b>Рис. 5.2 - 16.</b>	Пространственное распределение хлорофилла А. ....	78
<b>Рис. 5.2 - 17.</b>	Картосхема распределения пространственного распределения хлорофилла А (в мг/куб.м) в акватории порта Сабетта в 2021 году. ....	79
<b>Рис. 5.2 - 18.</b>	Интегральное содержание хлорофилла А в столбе воды. ....	80
<b>Рис. 5.2 - 19.</b>	Пространственное распределение продуктов деградации хлорофилла А. ..	80
<b>Рис. 5.2 - 20.</b>	Вертикальное распределение хлорофилла А и доли феофитина на стандартных горизонтах отбора (А) и для всего массива данных (Б). ....	81
<b>Рис. 5.2 - 21.</b>	Пространственное распределение продукционных показателей. ....	82
<b>Рис. 5.2 - 22.</b>	Картосхема Пространственного распределения продукционных показателей. в акватории порта Сабетта в 2021 году. ....	83
<b>Рис. 5.2 - 23.</b>	Соотношение количества видов различных таксонов на исследованной акватории. ....	84
<b>Рис. 5.2 - 24.</b>	Количество видов зообентоса на станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г. ....	85
<b>Рис. 5.2 - 25.</b>	Количество видов зообентоса на станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г. ....	86
<b>Рис. 5.2 - 26.</b>	Картосхема распределения численности зообентоса в акватории порта Сабетты в сентябре 2021 г. ....	87
<b>Рис. 5.2 - 27.</b>	Картосхема распределения биомассы зообентоса в акватории порта Сабетты в сентябре 2021 г. ....	88
<b>Рис. 5.2 - 28.</b>	Ординация станций методом многомерного шкалирования. Большая часть станций формирует единое сообщество. ....	89
<b>Рис. 5.2 - 29.</b>	Распределение поселений олигохет на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г. ....	90
<b>Рис. 5.2 - 30.</b>	Распределение поселений полихеты <i>Marenzelleria arctica</i> на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г. ....	90
<b>Рис. 5.2 - 31.</b>	Распределение поселений полихеты <i>Ampharete vega</i> на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г. ....	91
<b>Рис. 5.2 - 32.</b>	Распределение поселений изоподы <i>Saduria entomon</i> на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г. ....	91
<b>Рис. 5.2 - 33.</b>	Изменчивость видового богатства зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г. ....	94
<b>Рис. 5.2 - 34.</b>	Изменчивость численности зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г. ....	95
<b>Рис. 5.2 - 35.</b>	Изменчивость биомассы зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г. ....	96
<b>Рис. 5.2 - 36.</b>	Доля доминирующих видов в общей численности (А) и биомассе (Б) зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г. ....	96
<b>Рис. 5.2 - 37.</b>	Доля основных таксономических групп в общей численности (А) и биомассе (Б) зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г. ....	97

<b>Рис. 5.3 - 1.</b>	Картосхема точек сбора обрастателей в порту Сабетта (отмечены красными).....	98
<b>Рис. 5.3 - 2.</b>	Фрагменты трубчатых колоний <i>Navicula</i> sp.....	100
<b>Рис. 6.1 - 1.</b>	Рисунок 5.3.6.1 – Сотрудник ООО «ЦМИ МГУ», выполняющий работы в полном комплекте СИЗ.....	110
<b>Таблицы</b>		
Таблица 1.6—1.	Виды планктонных беспозвоночных, которые могут быть перенесены в балластных водах ( <a href="http://www.iucngisd.org/gisd/">http://www.iucngisd.org/gisd/</a> ).....	30
Таблица 1.6—2	Виды донных беспозвоночных, которые могут быть перенесены в балластных водах и в обрастаниях судов ( <a href="http://www.iucngisd.org/gisd/">http://www.iucngisd.org/gisd/</a> ).....	31
Таблица 2.4—1	– Объем выполненных исследований .....	36
Таблица 2.4—2	– Планируемые координаты станций.....	37
Таблица 4.1—1.	Коэффициенты для металлов .....	47
Таблица 4.1—2.	Уровни загрязнения донных отложений по концентрациям загрязняющих веществ .....	47
Таблица 4.1—3.	Классификация донных отложений .....	47
Таблица 5.1—1	–Интерпретация результатов гранулометрического анализа проб донных отложений акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г. ....	54
Таблица 5.1—2	Физико-химическая характеристика донных отложений акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г. ....	56
Таблица 5.1—3	–Концентрации тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г. (по результатам лабораторных исследований).....	57
Таблица 5.1—4	–Содержание поллютантов в донных отложениях акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г. (в пересчете на стандартный образец) .....	59
Таблица 5.2—1	–Виды-доминанты по количественным показателям в поверхностном горизонте.....	64
Таблица 5.2—2	-Виды-доминанты по количественным показателям в промежуточном горизонте.....	68
Таблица 5.2—3	Виды-доминанты по количественным показателям в придонном горизонте .....	72
Таблица 5.2—4	Показатели фитопланктона разных лет исследования .....	75
Таблица 5.2—5	Содержание хлорофилла А и доля продуктов его деградации.....	77
Таблица 5.2—6	Продукционные характеристики фитопланктона .....	82
Таблица 5.2—7	Видовой состав зообентоса в районе Сабетты в сентябре 2021 г. ....	84
Таблица 5.2—8	Количественные показатели развития зообентоса на станциях вблизи Сабетты в сентябре 2021 г.....	86
Таблица 5.2—9	Численность отдельных таксонов. ....	87
Таблица 5.2—10	Биомасса отдельных таксонов. ....	88
Таблица 5.2—11	Численность отдельных таксонов Видовой состав зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г. ....	93
Таблица 5.3—1	Видовой состав сообщества микроводорослей -обрастателей причальных сооружений в районе п. Сабетта в конце сентября 2021 года. ....	98
Таблица 5.3—2	Представленность различных экологических групп диатомей в локациях отбора проб. ....	99
Таблица 5.3—3	Интегральные показатели обилия экологических групп видов, а также суммарные по сообществам для разных локаций. ....	101
Таблица 5.3—4	Показатели разнообразия и выравнинности видовой структуры сообществ в разных локациях. ....	101
Таблица 7.1—1–	Пути к нейтрализации основных угроз при выполнении работ .....	110



## Список сокращений

<b>ВНИРО</b>	Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
<b>ГОСТ</b>	Государственный стандарт
<b>ДНК</b>	Дезоксирибонуклеиновая кислота
<b>ИС</b>	Исследовательское судно
<b>ЛУ</b>	Лицензионный участок
<b>МГУ</b>	Московский государственный университет
<b>МСОП</b>	Международный союз охраны природы
<b>МФК</b>	Международная финансовая корпорация
<b>МАРПОЛ 73/78</b>	Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов
<b>НИР</b>	Научно-исследовательские работы
<b>НИС</b>	Научно-исследовательское судно
<b>О.</b>	Остров
<b>ОАО</b>	Открытое акционерное общество
<b>ОВОС</b>	Оценка воздействия окружающей среды
<b>ООО</b>	Открытое акционерное общество
<b>ОТ и ПБ</b>	Охрана труда и пожарная безопасность
<b>ПАО</b>	Публичное акционерное общество
<b>ПАУ</b>	Полициклические ароматические углеводороды
<b>ПБОТОС</b>	Промышленная безопасность, охрана труда и окружающая среда
<b>ПДК</b>	Предельно допустимая концентрация
<b>Пос.</b>	Посёлок
<b>ПИР</b>	Проектно-изыскательные работы
<b>ПК</b>	Персональный компьютер
<b>ПХБ</b>	Полихлорированные бифенилы
<b>ФАР</b>	Фото-синтетически активная радиация
<b>CTD</b>	(Conductivity, Temperature and Depth) Зонд, с помощью которого измеряют соленость, температуру и глубину
<b>СИЗ</b>	Средства индивидуальной защиты
<b>СПГ</b>	Сжиженный природный газ
<b>GISD</b>	(Global invasive species database) Глобальная база данных инвазивных видов
<b>АЧ</b>	Ассимиляционное число
<b>ВПП</b>	Валовая первичная продукция
<b>ИПП</b>	Интегральная первичная продукция
<b>ПП</b>	Первичная продукция
<b>САЧ</b>	Суточное ассимиляционное число
<b>ФАР</b>	Фотосинтетически активная радиация
<b>ЭФЗ</b>	Эвфотическая зона



## Введение

Настоящий отчёт составлен по итогам выполнения камерально-аналитических работ по договору № 770/21-ЯСПГ от «2» июля 2021 г. Между ООО «ЦМИ МГУ» и ОАО «Ямал СПГ» «Мониторинг состояния гидробиоценозов акватории морского порта Сабетта для раннего обнаружения и предотвращения вселения опасных чужеродных видов в 2021–2023 годах», в соответствии с Техническим заданием. Камерально-аналитические работы выполнялись собственными силами с привлечением субподрядных организаций.

При выполнении работ ООО «ЦМИ МГУ» руководствуется Политикой в области охраны здоровья и безопасности труда, качества и экологической политикой в соответствии с требованиями российских и международных стандартов.

ООО «ЦМИ МГУ» обладает следующими лицензиями и сертификатами:

- Действующим свидетельством о допуске к определённому виду или видам работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства №436 от саморегулируемой организации (№ СРО-И-037-18122012);
- Действующим сертификатом соответствия системе менеджмента качества ISO 9001–2015 (рег. № FORTIS.RU.0001.F0012608);
- Действующим сертификатом соответствия системе экологического менеджмента ISO 14001:2004 (рег. № FORTIS.RU.0001.F0001453);
- Действующим сертификатом соответствия системе менеджмента охраны здоровья и безопасности труда OHSAS 18001:2007 (рег. № FORTIS.RU.0001.F0000891);
- Действующей лицензией на осуществление деятельности в области гидрометеорологии и в смежных с ней областях (№ Р/2016/3019/100/Л от 14 марта 2016 г.).

Субподрядные организации

1. ООО «Лаборатория» (Аттестат аккредитации № RA.RU.21AK94) – отбор образцов и выполнение камеральных исследований воды и донных отложений.

Основанием для проведения работ являются следующие документы:

- Материалы Оценки воздействия на окружающую и социальную среду в соответствии с требованиями международных социально-экологических стандартов;
- П.4 Перечня поручений Президента РФ № Пр-1530 по итогам совещания по вопросу эффективного и безопасного освоения Арктики, состоявшегося 5 июня 2014 г.;
- Международная Конвенция о предотвращении загрязнений с судов (МАРПОЛ 73/78);
- Руководства по контролю и управлению судовой балластной водой (1997); Международная Конвенция о контроле за вредными противообрастающими системами на судах (2001);
- Международная Конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими (2004; Россия ратифицировала в 2012 г.);
- Распоряжение Минприроды России от 22.09.2015 № 25-р «Об утверждении

- перечня видов флоры и фауны, являющихся индикаторами устойчивого состояния морских экосистем Арктической зоны Российской Федерации»;
- Программа сохранения биоразнообразия ОАО «Ямал СПГ» (2015);
  - План мероприятий по сохранению биоразнообразия ОАО «Ямал СПГ» (2018);
- Комплексная программа по реализации экологической стратегии ПАО «НОВАТЭК» на период 2020-2030 годы (п. 2.1.).

## 1.1. Цель работ

Целевым назначением работ является контроль и управление риском вселения чужеродных инвазивных видов с балластными водами в акватории морского порта Сабетта, связанных с деятельностью ОАО «Ямал СПГ».

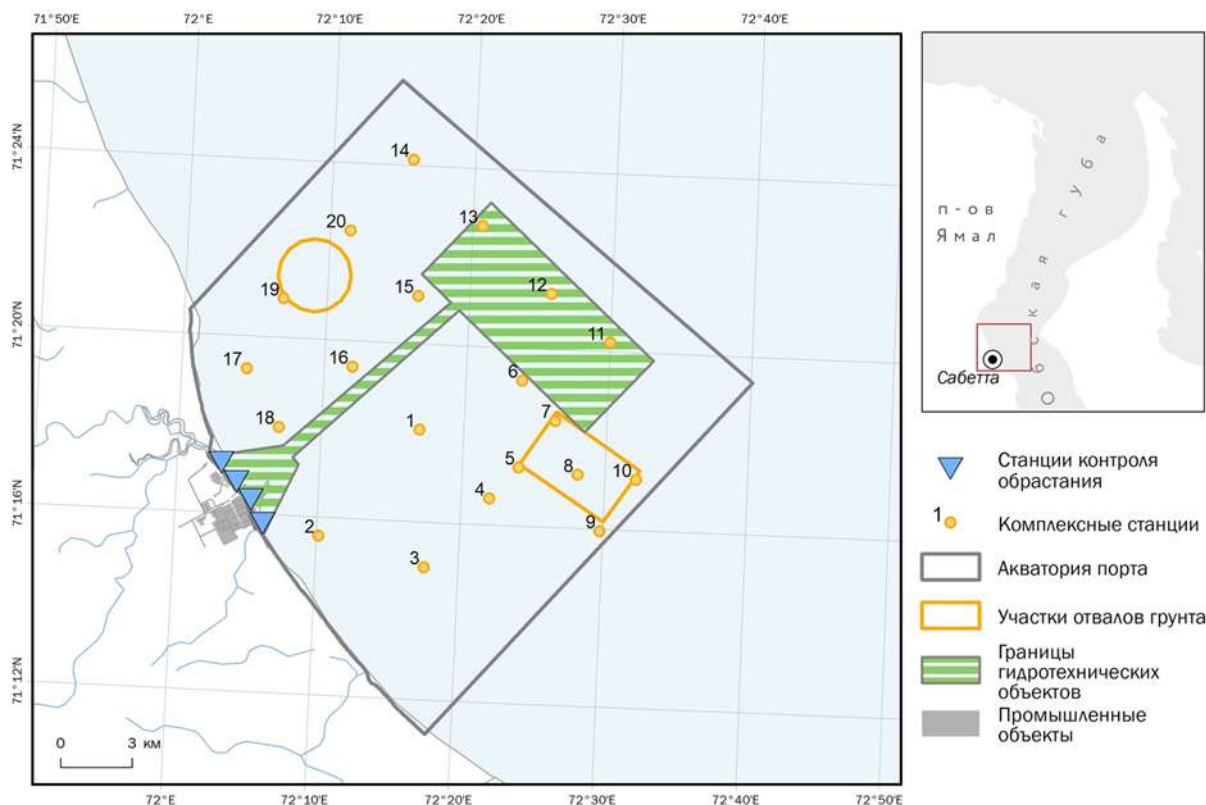
Инвазивные чужеродные виды в настоящее время общепризнаны в качестве одной из величайших угроз глобальному биоразнообразию, они также имеют серьезное экономическое воздействие и воздействие на окружающую среду. Судовые балластные воды высоко идентифицируются за свою роль в перемещении биологических видов, а также в качестве потенциального вектора распространения инвазивных чужеродных видов, поэтому на международном уровне были внедрены правовые инструменты в отношении чужеродных инвазивных видов, например, разработаны регламентирующие документы и руководства по управлению данным риском. Конвенция ИМО по управлению балластными водами называет такие виды «вредоносными водными и патогенными организмами».

Проникновение видов-вселенцев является значительным риском для крупных инфраструктурных проектов, в том числе – связанных с приходом судов из других регионов и поступлением в акваторию балластных вод. Судовые балластные воды высоко идентифицируются за свою роль в перемещении биологических видов, а также в качестве потенциального вектора распространения инвазивных чужеродных видов. В данном контексте комплексная программа мониторинга направлена на предотвращение вселения опасных инвазивных видов с целью выполнения требований Конвенции об управлении балластными водами, Стандарта 6 МФК, принятых корпоративных Программ, Плана мероприятий по сохранению биоразнообразия ОАО «Ямал СПГ» и Комплексной программы по реализации экологической стратегии ПАО «НОВАТЭК».

В рамках выполнения камерально-аналитических работ было запланировано решение следующих задач:

1. Мониторинг состояния гидробиоценозов акватории морского порта Сабетта (включая подходной канал), направленный на раннее обнаружение и предотвращение вселения опасных инвазивных видов (исследование состояния фито- и зоопланктона, зообентоса в акватории порта и на подходном канале);
2. Контроль обрастаний на портовых сооружениях;
3. Оценка риска, создаваемого судовой балластной водой, сбрасываемой в акватории морского порта Сабетта.

## 1.2. Район работ



**Рис. 1.2 - 1.** Карта фактических координат станций полевых работ в акватории порта Сабетта.

В соответствии с российским ОВОС и международной оценкой воздействия на экологическую и социальную среду зона непосредственного воздействия Проекта «Ямал СПГ» в акватории Обской губы простирается от трассы Северного морского пути до траверза южной границы Южно-Тамбейского лицензионного участка. В соответствии с техническим заданием район мониторинга в рамках комплексной программы определяется, как акватория морского порта Сабетта в Обской губе, включая подходной канал, и морская часть Южно-Тамбейского лицензионного участка.

Лабораторные гидробиологические и химико-аналитические исследования, камеральные работы, анализ полученного в ходе экспедиционных работ материала, и подготовка отчета о результатах выполнения программы за текущий год осуществлялись в срок до конца ноября текущего года;

Данный отчет включает в себя результаты выполнения комплексной программы за период 2021 гг.

По всей акватории района работ выполнили отбор на 20 станциях, приуроченных к акватории морского порта Сабетта и морской части Южно-Тамбейского лицензионного участка, включая подходной канал и район дампинга грунта. Всего на участке был произведен отбор на 20 комплексных станциях: 5 станций располагаются на участке дампинга и 15 станций в акватории порта. Также был произведен отбор проб обрастаний портовых сооружений (по соображениям безопасности отбираются подрядчиками, обслуживающими портовую инфраструктуру; передаются для анализа).

### 1.3. Физико-географическая характеристика

Обская губа – это эстуарий, замыкающий водоем бассейна реки. Устье Обской губы открывается в мелководную область шельфа Карского моря, которую называют Обь-Енисейским мелководьем. Гидрологический режим этой морфологически сложной акватории формируется под определяющим влиянием стока этих крупнейших сибирских рек. Изменчивость имеет выраженную цикличность, в основе которой лежат сезонный и климатический циклы. Губа отделена от Карского взморья баром примерно по  $72^{\circ}$  с.ш. Бар препятствует свободному водообмену с морем в глубинных горизонтах и продвижению плотных и соленых вод Карского моря далеко в эстуарий. (Ильин, 2018)

Область контакта речных вод и соленых вод Карского моря выражена в поле гидрологических характеристик как фронтальная зона. При этом наибольшее обострение градиентов солености и температуры происходит в придонном слое, где и происходит основной приток соленых и холодных вод из морского бассейна. По данным наблюдений, градиент солености на обостренных участках фронтальной зоны в меридиональном сечении составляет около 0,9 ‰ на морскую милю, градиент температуры – около 0,12 °С. На поверхности термический и солевой градиенты сглажены превалированием речного стока и наблюдаются лишь фрагментарно у берегов, что вызвано орографическими эффектами.

Положение фронтальной зоны и ее ширина динамично меняются в сезонном цикле. Этот гидрофронт делит Обскую губу на две области. Значительные различия термохалинных характеристик воды в этих частях и процессов, формирующих эти характеристики, дали основания условно обозначить их как южную, речную, и северную, эстуарную, области. Между ними выделяется некая область смешения, более всего выраженная в поле гидрохимических и гидробиологических характеристик. Эта область идентифицируется как зона наибольшей первичной продукции в Обской губе (Лапин, 2011; Лапин, 2012).

В южной, речной, области гидрологический режим определяется главным образом речным стоком. Проникновение соленых морских вод ограничено водообменом через фронтальный раздел. В качестве северной границы этой области принимают изогалину 0,5 ‰, южнее которой градиент солености не обнаруживается.

Северная, эстуарная, область представляет собой часть зоны смешения пресной воды речного стока с более солеными морскими водами. Положение фронтальной зоны и ее характеристики меняются под действием ветровых нагонов и приливов. Соленость вод во фронтальной зоне варьируется в диапазоне 0,5–2 ‰. Осредненное положение границы речной области в безледный период (период открытой воды), можно условно обозначить вдоль  $71^{\circ}20'$  с.ш. Южная граница эстуарной области проходит примерно вдоль  $72^{\circ}$  с.ш (Лапин, 2011; Лапин, 2012).

Большую часть года Обская губа покрыта льдом. Осенью, после устойчивого перехода температуры воздуха к отрицательным значениям, охлаждение воды в Обской губе идет очень интенсивно. В результате этого образуются первичные формы льда. В южной части губы процесс формирования ледяного покрова начинается в первых числах октября и завершается в первой декаде ноября. В средней части губы образование прибрежного льда происходит в первой половине ноября, а сплошное замерзание растягивается до конца декабря. У границ эстуарной зоны сплошной ледяной покров

устанавливается только в январе. В устьевой части Обской губы ледяной покров, как правило, не бывает сплошным вследствие взаимодействия с морским бассейном – течения, солевые интрузии, нагоны, ветровой дрейф льдов. Разрушение ледяного покрова под влиянием солнечной радиации и увеличения объема паводковых вод начинается в южной части Обской губы в мае. Средняя скорость продвижения волны вскрытия ледяного покрова уменьшается в направлении к северу от 49,6 км/сутки у мыса Каменного до 43,2 км/сутки у о. Белого. В июне начинается вскрытие акватории губы под действием ветрового волнения. С этого времени разрушение припая происходит как на юге, так и на севере Обской губы. Полное очищение дельты Оби ото льда обычно наблюдается в начале июня, а устья Обской губы – в конце июля – начале августа. Таким образом, приход гидрологической и биологической весны растягивается по акватории губы на месяц и более (Стунжас, Маккавеев, 2014).

#### 1.4. Климатическая характеристика

На севере полуострова Ямал распространен арктический климат. Климат в районе работ – морской арктический, он характеризуется суровой зимой и холодным летом, с частыми туманами и неустойчивой погодой в течение всего года. На климат района влияют высокоширотное положение и атмосферная циркуляция.

Средние температуры составляют в январе около  $(-)$  25°C, в августе –  $(+)$  6°C. Количество осадков невелико: около 320 мм/год. Толщина снежного покрова достигает в среднем 40 см.

Температура воздуха. Самые теплые месяцы – июль и август (средние значения температуры воздуха – 5-6°C). Абсолютный максимум составляет в летний период 30°C (Тамбей). Самые холодные месяцы – январь и февраль (средние значения температуры воздуха –  $(-)$  25 –  $(-)$  26°C, а абсолютный минимум составляет  $(-)$  49°C. Минимум среднемесячной температуры приходится на февраль,  $(-)$  26,2°C, максимум – на август, 6,2°C. Экстремальные температуры воздуха колеблются: максимальные варьируются от 0,3°C (февраль) до 30°C (июль), минимальные – от  $(-)$  3 (в июле, августе) до  $(-)$  49°C в феврале.

Атмосферное давление. Атмосферное давление в среднем за год равно 1011,1 гПа, максимум бывает в феврале 1013,9 гПа, а минимум летом 1010,6 гПа.

Влажность. Месячное парциальное давление колеблется от 0,8 до 8,4 гПа. Максимум – от 1,8 до 10, а минимум – от 0,2 (февраль) до 6,7 гПа в августе. Относительная влажность высока: 85–91 %, за год – 87 %. Максимальная влажность – 100%, минимальная отмечается в феврале (22%).

Дефицит влажности варьируется от 0,1 до 1,3 гПа летом, максимум – 1 гПа – в августе и минимум – 0,03 гПа – в феврале.

Средняя годовая относительная влажность близка к 88%, зимой – 84–85%, летом – 90%. Число дней за год с относительной влажностью 80% и более составляет 280–290. Низкая относительная влажность (30% и менее) наблюдается в отдельных пунктах у побережья губы 1-2 раза за 50 лет.

Скорость и направление ветра. Зимой из-за особенностей барической ситуации преобладают ветра южных направлений. Летом преобладают ветра северной



составляющей. Среднемесячная скорость ветра составляет здесь 5–7 м/с. Максимум скорости ветра в порывах может достигать 45 м/с.

Среднемесячная скорость ветра колеблется от 5,3 м/с (июль) до 6,8 м/с (ноябрь–декабрь). Максимальная (в порыве) может превышать 40 м/с.

Средние и максимальные скорости ветра чаще отмечаются юго-западного направления, а меньшая скорость чаще северной четверти зимой и юго-восточной летом.

Зимой наибольшая повторяемость 1–2% на северную половину румбов приходится на скорость ветра 3–5 м/с, на южную – 1–2% скорости 4–6 м/с. Летом северные ветры повторяемостью 1–3 % скоростью 2–5 м/с, а южной половины 3–6 м/с повторяемостью 1–3 %.

В январе наибольшая повторяемость приходится на южное направление. В июле – на северное и северо-восточное.

Видимость. Число дней с видимостью более 100 м колеблется от 27 до 30. Наибольшая – от 28 в феврале до 30–31 дня во все другие месяцы. Дней с видимостью более 10 км (ясная погода) наблюдается от 17 до 23 в месяц.

Атмосферные осадки. Среднее количество осадков составляет 16–19 мм в месяц зимой и 42–47 мм летом. Интенсивность осадков – 1,2–3,8 мм/сутки, максимум – 4,6 мм/сутки (август). Высота снежного покрова равна 12 см в октябре и увеличивается до 37 см к апрелю.

Температура вод. Для летнего периода характерные значения температуры воды составляют 5–5,2°C у поверхности до 3°C у дна. Для зимнего периода характерны колебания температуры вод от (-0,4) °C у поверхности до (-0,8) °C у дна.

Соленость. Для летнего периода характерные значения солености воды составляют от 0–0,5‰ у поверхности до 1–2 ‰ у дна.

В зимнее время граница пресных вод располагается в зоне 69°30'–70°30' с.ш. В северной части Обской губы зимой складывается своеобразное вертикальное распределение солености, на которое сильное влияние оказывает наличие полыньи на севере губы. Интенсивные нагонные и приливные явления в совокупности с конвекцией способствуют процессам перемешивания, поэтому часто зимой в северной части губы отмечается однородная по вертикали соленость. Однако в среднем соленость вод колеблется от 8–9‰ на поверхности до 18–19‰ у дна.

Плотность. Для летнего периода характерные значения плотности воды составляют от 1000,4 кг/м<sup>3</sup> у поверхности до 1000,8–1001,6 кг/м<sup>3</sup> у дна.

Значения плотности в зимний период варьируются от 1006,3–1007,9 кг/м<sup>3</sup> у поверхности до 1014,4–1015,3 кг/м<sup>3</sup> у дна.

Течения. Течения на акватории северной части Обской губы представляют собой сумму периодической приливо-отливной и непериодической составляющих скоростей течения, являющихся векторной суммой стокового, ветрового и плотностного течений.

В течениях преобладают западо-северо-западные и востоко-юго-восточные направления, на придонном горизонте увеличивается повторяемость восточных и востоко-юго-восточных румбов. Максимальные приливные течения развиваются в направлении северо-северо-запад – юго-юго-восток. На поверхностных горизонтах среднесизигийная скорость течений составляет 46 см/с. на придонном горизонте 30 см/с.

Колебания уровня. Глубины моря в районе работ изменяются от 9 до 20 м([https://www.rosmorport.ru/filials/arf\\_serv\\_loc/](https://www.rosmorport.ru/filials/arf_serv_loc/)), Глубина Морского канала (по БС) – 15,1 м.

Колебания уровня определяются приливной волной и стонно-нагонными явлениями. Приливная волна проникает в район работ из Карского моря. Максимальная величина суммарных колебаний уровня на севере района у мыса Дровяной составляет 3,1 м.

Уровенный режим. Уровенный режим Обской губы формируется под влиянием приливо-отливных и стонно-нагонных явлений, также небольшое влияние имеет стоковая составляющая.

Приливы имеют в целом полусуточный характер, но в зимний период могут иметь и неправильный суточный характер. Приливная волна, имея 0,5 м высоту в Карском море, входя в узкую часть губы, вначале возрастает в 2–3 раза (м. Дровяной - амплитуда прилива 1,85 м), затем постепенно понижается, доходя практически до нуля в середине дельты р. Оби. Сизигийные приливы достигают максимального развития на третьи сутки после астрономической сизигии. В апреле средняя величина сизигийного прилива составляет 57 см, в августе – 128 см. Величина квадратурных приливов в 2,3–2,5 раз меньше величины сизигийных.

Нагоны в Обской губе обусловлены северными, западными и северо-западными ветрами. При юго-западных ветрах могут наблюдаться небольшие подъемы уровня.

Сгоны обусловлены восточными, южными и юго-восточными ветрами. Непериодические колебания уровня достигают наибольших значений на южной границе устьевого взморья (м. Ям-Сале).

Амплитуда колебания средних годовых высот уровня у с. Тадибеяха составляет около 20 см. Амплитуда средних годовых высот уровня в приустьевом участке дельты более чем на морском крае в 2 раза. В северной части губы амплитуда средних годовых уровней почти в 6 раз меньше, чем в приустьевом участке.

Ледовые условия. Начало устойчивого ледообразования в среднем происходит в первой декаде октября. Устойчивый припай образуется в начале третьей декады октября. Переход температуры воды через 0°C весной происходит в конце мая. Разрушение припая происходит в начале второй декады июля, а окончательное очищение района ото льда в середине третьей декады июля.

Продолжительность ледового периода в среднем составляет 296 дней, максимум – 317 дней. Максимальная толщина ровного льда может достигать к маю 210 см.

Для района характерно существование прибрежных гряд торосов и навалов льда на берег. В Обской губе ежегодно образуются «региональные» продольные и поперечные разломы, которые существуют на протяжении всего ледового сезона в виде сходящихся и расходящихся трещин и разводий.



## 1.5. Характеристика состояния окружающей среды

### 1.5.1. Характеристика качества донных отложений

Гранулометрический состав является важной характеристикой донных отложений, поскольку он не только отражает существо осадка как геологического тела и его генезис, но и обуславливает основные физические свойства осадков (пористость, объемный вес, вязкость, плотность и др.) и многие гео- и экохимические свойства, в частности, их сорбционные свойства, поведение различных элементов в системе «донные отложения – вода», условия жизнедеятельности донных организмов и характер перемещения частиц при техногенном воздействии. Особенно большое значение эта характеристика приобретает в акватории Арктики, где преобладающими являются именно терригенные осадки.

В качестве характеристики состояния донных отложений были взяты результаты, полученные в ходе комплексной программы мониторинга экологического состояния Обской губы в зоне влияния проекта «Ямал СПГ». Стоит отметить, что данная программа мониторинга охватывала северную часть акватории Обской губы. Наиболее релевантными к текущей программе мониторинга являются данные по станциям ЯСПГ 61–80. По результатам лабораторных исследований (Итоговый отчёт..., 2020) поверхностные донные отложения северной части Обской губы представлены преимущественно разными типами алевритов: чистыми (без примесей), глинистыми, песчано-глинистыми, глинисто-песчаными и песчаными (81 из 100 станций). На 11 станциях наблюдаются пески от глинисто-алевритовых до мелкозернистых. На 8 станциях – пелиты (глины) алевритовые и песчано-алевритовые. Грубообломочный материал отсутствует в составе грунтов на всех станциях опробования.



Рис. 1.5 - 1.

Гистограмма гранулометрического состава донных отложений на станциях ЯСПГ 1 – ЯСПГ 50



**Рис. 1.5 - 2.** Гистограмма гранулометрического состава донных отложений на станциях ЯСПГ 51 – ЯСПГ 100

Пространственное распределение типов донных отложений в целом подчиняется классическим закономерностям: наиболее мелкодисперсные грунты (глинистые алевриты и пелиты) приурочены к глубоководному и широкому участку изучаемого района, а алевриты с содержанием песка и пески тяготеют к мелководным и прибрежным участкам.

Такое распределение обусловлено несколькими факторами: породами, слагающими побережье, твёрдым стоком временных и постоянных водных потоков, но в основном оно диктуется гидродинамическим режимом и хорошо согласуется с картой придонных течений (Итоговый отчет..., 2020). В широких и глубоких районах с небольшими скоростями течения преобладают аккумулятивные процессы, здесь мелкодисперсные частицы успевают осесть на дно. А в мелководных и узких районах более активная гидродинамика не дает накапливаться глинистым частицам, вынося их в более глубоководные и спокойные зоны осадконакопления.

Плотность частиц грунта изменялась от  $2,54 \text{ г/см}^3$  в песках (станция ЯСПГ 59) до  $2,73 \text{ г/см}^3$  в глинистых алевритах (станции ЯСПГ 3, 22, 27, 35, 81, 82, 91). Среднее значение плотности грунтов –  $2,68 \text{ г/см}^3$ . В целом в районе исследований наблюдается логичная закономерность – плотность песков ниже, чем плотность более мелкодисперсных осадков.

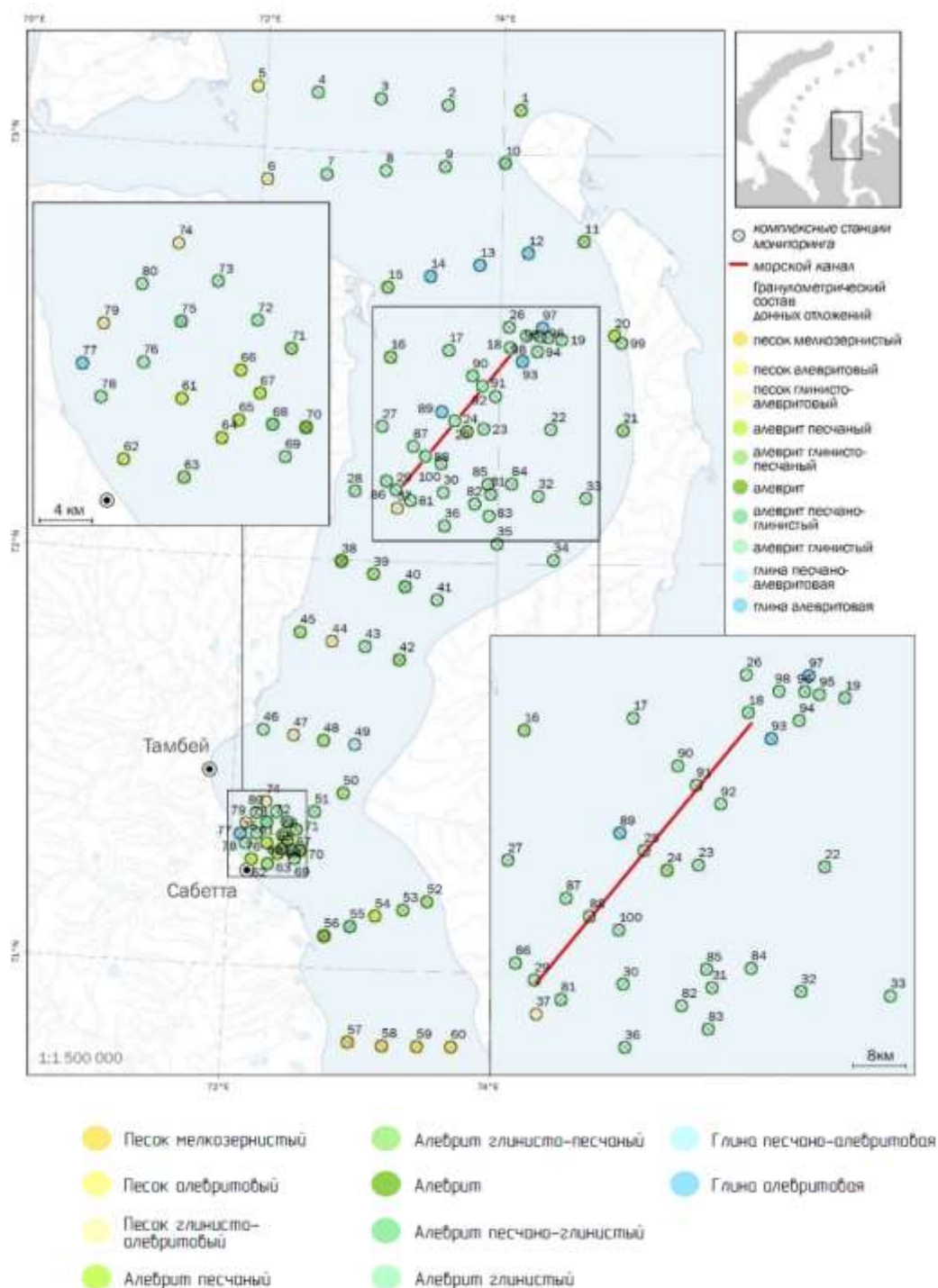


Рис. 1.5 - 3. Пространственное распределение типов донных отложений

### Органические загрязнители

На участке исследований концентрации битуминозных веществ изменялись от 51 до 270 мг/кг. В грунтах станций ЯСПГ 48, 50, 54, 55, 61–67 концентрации битуминозных веществ были ниже предела обнаружения используемой методики. Минимальные концентрации отмечаются в грунтах разных частей акватории: в северной – на станциях ЯСПГ 5, 29, 37, 86; в южной части участка исследований – на станциях ЯСПГ 48, 50, 54, 55, 57-60; в акватории порта Сабетта – на станциях ЯСПГ 61-66. Это может быть связано с особенностями гранулометрического состава верхнего слоя донных отложений, которые на данных станциях представлены песками (мелкозернистыми и алевроитовыми) или

алевритами (песчаными или песчано-глинистыми с содержанием песчаной фракции от 15 до 40%).

Для всех станций исследуемого участка концентрации бенз(а)пирена и полихлорированных бифенилов (ПХБ) были ниже пределов обнаружения используемых методик.

При анализе влияния битуминозных веществ на гидробионты необходимо знать их состав, поскольку в зависимости от их типа и свойств (особенно от плотности и вязкости) будет преобладать тот или иной механизм поражения биоты. Также важно понимать, что вредное действие нефти и нефтепродуктов в море может определяться не только и не столько интоксикацией морских организмов, сколько прямым физическим контактом с биотой на поверхности моря и на берегах, а также нарушением биотопов (местообитаний) организмов (Патин, 2017).

### **Неорганические загрязнители**

Концентрации кадмия были ниже предела определения в грунтах большинства станций исследуемого участка, за исключением грунтов станций ЯСПГ 4, 6, 10, 12-14, 16, 59, 60. Значимые концентрации элемента в грунтах станций ЯСПГ 12, 13, 14 могут быть связаны с особенностью гранулометрического состава верхнего слоя донных отложений (грунты представлены глиной алевритовой). В грунтах станций ЯСПГ 59, 60 (донные отложения представлены песком мелкозернистым) отмечаются максимальные для участка исследований концентрации кадмия – 0,5 и 0,48 мг/кг соответственно, что может быть связано с высоким содержанием органического вещества или с выносом вещества из береговой зоны. Стоит отметить, что данные станции находятся за пределами исследуемой акватории порта Сабетта (ЯСПГ 61-80).

Ртуть и мышьяк распределены по акватории достаточно равномерно. В грунтах станций ЯСПГ 3–5, 7, 8, 10, 20, 57, 58 концентрации ртути не достигали нижнего предела диапазона измерений.

Минимальные концентрации меди, хрома, никеля, свинца и цинка приурочены к прибрежным частям участка исследований и коррелируют с особенностями гранулометрического состава донных отложений (в основном пески мелкозернистые, алевритовые и глинисто-алевритовые, а также алевриты песчаные и глинисто-песчаные). Соответственно максимальные концентрации элемента отмечаются в центральной и наиболее глубоководной части участка исследований, в которой наиболее распространены глинистые осадки.

По результатам исследований концентрации фосфатов в донных отложениях не превышали порог диапазона измерений (>500 мг/кг) практически на всем участке исследований, за исключением грунтов станций ЯСПГ 10 (191 мг/кг), 15 (380 мг/кг), 50 (440 мг/кг), 55 (490 мг/кг), находящихся за пределами исследуемой акватории.

Учет современного состояния природных и техногенно измененных экосистем можно осуществлять через ранжирование по классам состояний – удовлетворительное, условно удовлетворительное, неудовлетворительное, катастрофическое. В соответствии с выделенными классами состояний Трофимовым и Зилингом (2002) были предложены четыре уровня природно-антропогенных экологических нарушений - нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б). В основу выделения этих уровней положено ранжирование нарушения экосистем по глубине их необратимости (Трофимов, Зилинг, 2002). Сравнение полученных данных с фоновыми значениями показало, что исследуемая территория

относится к классу условно удовлетворительного состояния, который коррелирует с зоной экологического риска экосистемы, т. к. значения прямых критериев (битуминозных веществ, тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях) оценки эколого-геологического состояния литосферы незначительно (до 5 раз) превышают фон. Для зоны экологического риска характерно нестабильное состояние, ведущее в дальнейшем к спонтанной деградации экосистем, но еще с обратимыми нарушениями (Трофимов, Зилинг, 2002). Стоит отметить, что большая часть экологической нагрузки имеет кумулятивный эффект, и не является прямыми последствиями функционирования проекта «Ямал СПГ».

Присутствие тяжелых металлов (Cd, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Cr, Zn) и их соединений в водных экосистемах в повышенных концентрациях может быть причиной снижения и прекращения роста водорослей, задержкой развития беспозвоночных. В этом случае медь будет являться наиболее токсичной для водных организмов, а хром – наоборот менее токсичным относительно других металлов. Некоторые соединения хрома могут оказывать также стимулирующее действие на рост водорослей (Мур, Рамамурти, 1987).

Исследуя влияния концентраций тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях на гидробионты необходимо учитывать то, что, во-первых, большинство тяжелых металлов относятся к группе природных микроэлементов, без которых жизнь была бы невозможной ни на суше, ни в море. Переход концентраций к вызывающим сублетальные и летальные эффекты происходят в довольно широком диапазоне концентраций и зависят от многих биотических и абиотических факторов; во-вторых – для тяжелых металлов характерна высокая изменчивость содержания в донных осадках, а их биологическое действие будет определяться не столько концентрациями, сколько формой нахождения (Патин, 2017). Повышенные концентрации тяжелых металлов в донных отложениях часто рассматриваются как фактор повышенной экологической опасности, но при этом не учитывается тот факт, что металлы присутствуют в абсолютно недоступной для биологического усвоения форме.

#### 1.5.2. Фитопланктон

На акватории Обской губы в августе 2019 г. отмечен 171 вид микроводорослей. Диатомовые водоросли были самой богатой в видовом отношении группой (38%), второе место по видовому разнообразию занимали зеленые водоросли (27%), на долю динофитовых и эвгленовых пришлось 10% и 11% соответственно, на долю цианобактерий – 8%, на долю остальных таксономических групп не более 3% от общего количества видов (рис.1.5-4)



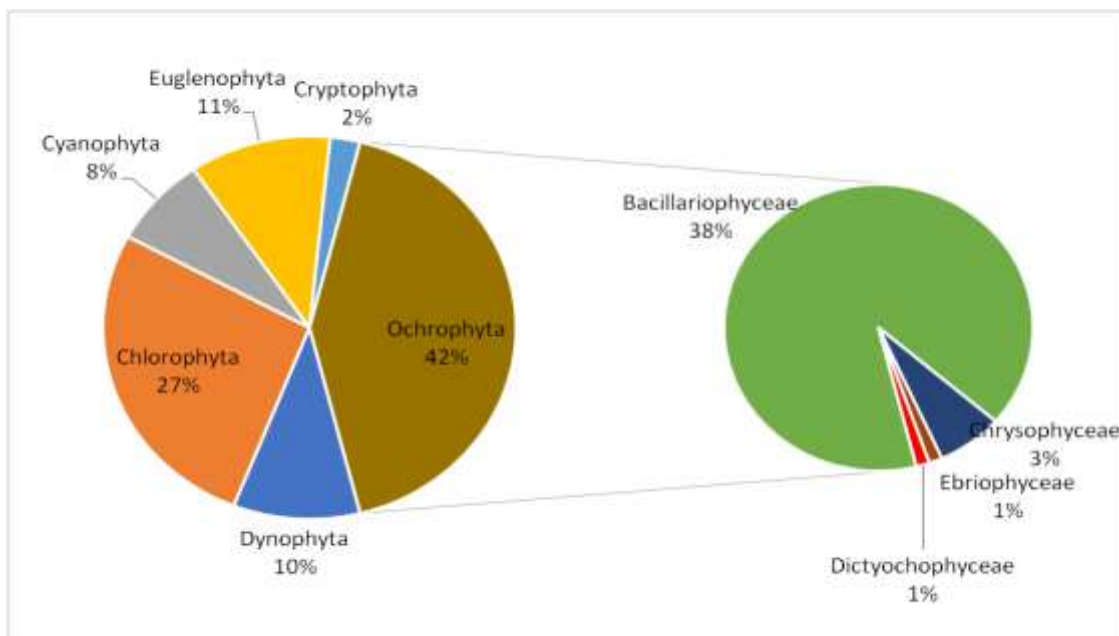


Рис. 1.5 - 4.

Вклад в видовое разнообразие различных таксономических групп фитопланктона Обской губы в августе 2019 г.

В составе диатомовой флоры наиболее разнообразно были представлены пр. *Aulacoseira* (10 видов), *Chaetoceros* (5 видов), *Melosira* (5 видов), *Protoperidinium* (5 видов), в составе зеленых водорослей – р. *Ankistrodesmus* (7 видов). Количество видов по станциям варьировало от 34 до 110, среднее значение составило 76. Пресноводные виды фитопланктона составили 60% от общего их числа, на долю неритических видов приходилось 27%, микрофитобентосных и панталассных – по 5%, океанических – 3%. Значения численности фитопланктона Обской губы в августе 2019 г. в поверхностном горизонте варьировали в пределах 57,25–2481 млн кл/м<sup>3</sup> (среднее значение 730,69 млн кл/м<sup>3</sup>), значения биомассы составили 114,32–2433 мг/м<sup>3</sup> (среднее значение 800,48 мг/м<sup>3</sup>). В слое скачка плотности численность фитопланктона изменялась от 34,5 до 1891 млн кл/м<sup>3</sup> (среднее значение 452,03 млн кл/м<sup>3</sup>), биомасса – от 142,83 до 3806,53 мг/м<sup>3</sup> (среднее значение 865,007 мг/м<sup>3</sup>). В придонном горизонте значения численности лежали в пределах от 16,41 до 940 млн кл/м<sup>3</sup> (среднее значение 226,3 млн кл/м<sup>3</sup>), биомассы – от 84,26 до 3887,5 мг/м<sup>3</sup> (среднее значение 774,23 мг/м<sup>3</sup>).

Видовой состав фитопланктона Обской губы в августе 2019 г. соответствует литературным данным (Дружков, Макаревич, 1996; Киселев, 1970; Макаревич, 2007; Суханова и др., 2010; Митрофанова 2016).

#### Хлорофилл «а» и первичная продукция

Хлорофилл «а» является основным фотосинтетическим пигментом фитопланктона, обеспечивающим фотосинтез, то есть процессы новообразования органического вещества из минеральных веществ и воды за счет солнечной энергии. Однако активность пигмента сильно зависит от благоприятности условий среды, а также подвержена внутри- и межсезонной изменчивости. Одним из показателей общей активности хлорофилла «а» (т. е. его способности воспринимать солнечную энергию и обеспечивать фотосинтез) является доля феофитина «а» (неактивной формы хлорофилла «а») в общей сумме «хлорофилл + феофитин». Доля феофитина обратно коррелирует с продукционной активностью

фитопланктона (Foу, 1987; Мошаров и др., 2016), при этом процесс феофитинизации, связанный с дефицитом ФАР, наблюдается при опускании клеток фитопланктона ниже эвфотической зоны и нахождении там определенное время (более 70 часов) (Yentsch, 1965) и может быть обратим (Мошаров, Сергеева, 2018).

В августе 2019 г. содержание хлорофилла «а» в поверхностном горизонте варьировало от 0,79 мг/м<sup>3</sup> до 28,55 мг/м<sup>3</sup> в среднем составляя 5,78±0,48 мг/м<sup>3</sup>, трофический статус был переходным от олиго- к мезотрофному, на отдельных станциях воды соответствовали эвтрофному уровню. Области наименьших концентраций были приурочены к акватории п. Сабетта и Тамбею, а также к северной границе обследованной акватории в районе открытого моря. Понижение количественных показателей фитопланктона в акватории п. Сабетта отмечали и ранее, вероятнее всего это связано с повышенной мутностью вод во время дноуглубительных работ. Доля феофитина, характеризующая физиологическое состояние альгофлоры и фотосинтетическую активность, варьировала от 0,3% до 78%, в среднем составляя 35,0±2,2%, что соответствует высокой продукционной активности сообщества. Первичная продукция фитопланктона, рассчитанная на основе данных по содержанию хлорофилла в поверхностном горизонте, изменялась от 29,2 мгС/м<sup>3</sup> в сут. до 792,7 мгС/м<sup>3</sup> в сут, среднее значение составляло 178,7±13,5 мгС/м<sup>3</sup> в сут. В целом за период экологических изысканий с 2014 по 2019 г. наблюдается планомерное увеличение содержания хлорофилла «а» и продукционной активности фитопланктона от минимальных показателей, зафиксированных в 2014–2015 гг. к значениям характерным, согласно данным литературы, для Обской устьевой области. Ввиду того, что экологические изыскания проводились в летний период, когда возможно провести сравнение полученных результатов. Межгодовая изменчивость показателей первичной продукции связана с изменчивостью площади акватории, свободной ото льда (Демидов, 2018).

### 1.5.3. Зоопланктон

Всего в пробах зоопланктона в 2019 г. зарегистрировано 44 таксона водных беспозвоночных. Наибольшим разнообразием отличались веслоногие ракообразные (21 таксон). В зоопланктоне отмечены также 8 видов коловраток, 7 видов ветвистоусых ракообразных и 4 вида гидроидных медуз. Остальные таксономические группы были представлены 1 таксоном каждый. Представители меропланктона – личинки полихет и двусторчатых моллюсков, до вида не определялись.

Видовое богатство зоопланктона составляло в среднем 10,3 вида на станцию, варьируя в диапазоне от 5 до 21. Максимальное видовое разнообразие было зафиксировано на станции 97, расположенной в открытой части Обской губы напротив о-ва Халяngo, минимальное – на станциях 15, 16, 22, 78 и 96, расположенных как в устьевой части Обской губы, так и в районе пос. Сабетта. Какой-либо закономерности в пространственном распределении видового разнообразия зоопланктона по обследованной акватории не прослеживалось.

Таким образом, сообщество зоопланктона характеризовалось богатым видовым разнообразием, всего было зарегистрировано 44 вида. Наибольшую роль в сообществе играли, в основном, те же таксоны, что и в предшествующий период: веслоногие раки *Drepanopus bungii* доминировали по численности (в среднем 30% от общей численности), а *Senecella siberica* – по биомассе (в среднем 53% от суммарной биомассы). Веслоногие раки



рода *Limnocalanus*, а также *Jashnovia tolli* по-прежнему входили в число доминирующих таксонов, формируя 5–7% суммарной биомассы зоопланктона. По сравнению с 1997–1999 гг. можно отметить повышенную роль ветвистоусых ракообразных, на долю которых в 2019 г. приходилось 22% численности и 4,8% биомассы. Возможно, такие различия в количественных показателях объясняются различным пространственным охватом съёмок 2019 г. и 1997–1999 гг. Так, в 1997–1999 гг. пробы не отбирались южнее пос. Тамбей, где в 2019 г. отмечены скопления ветвистоусых ракообразных.

Численность и биомасса организмов зоопланктона обследованной акватории были низкими, 452 экз./м<sup>3</sup> и 68 мг/м<sup>3</sup>, и существенно (на 4 порядка величин) варьировали между станциями. Пространственное распределение зоопланктона носило мозаичный характер. Повышенные величины обилия планктонных беспозвоночных были отмечены как в северных, так и южных районах исследованной акватории независимо от глубины или солёности.

В целом структура зоопланктона северной части Обской губы в 2019 г. не отличалась существенно от таковой, наблюдавшейся здесь ранее. Между тем, показатели обилия зоопланктона были существенно ниже аналогичных показателей, отмеченных в предыдущий период (1962–2006 гг.). При этом минимальные значения численности и биомассы зоопланктона наблюдались не только в районах интенсивной хозяйственной деятельности, но и на значительном удалении от них.

#### 1.5.4. Ихтиопланктон

В составе ихтиопланктона обнаружены личинки и молодь 4 видов рыб: четырёхрогий керчак/четырёхрогий бычок, или рогатка *Myoxocephalus quadricornis* (Linnaeus, 1758), сайка или полярная тресочка *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774), личинка рода люмпенус – *Lumpenus sp.*, арктический шлемоносный бычок, арктический шлемоносец *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830) ((рис.1.5-5)

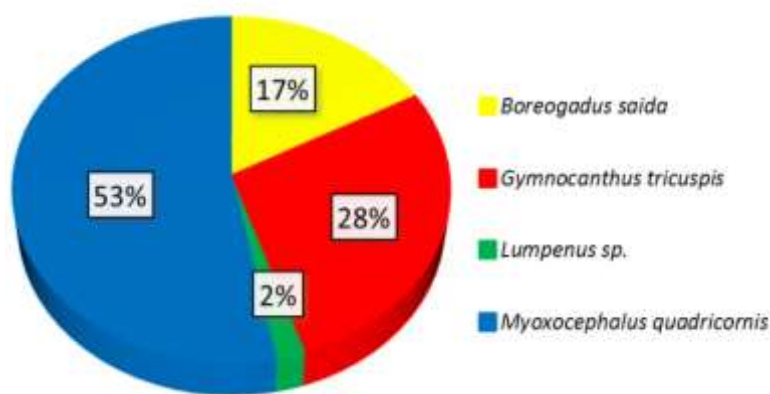


Рис. 1.5 - 5.

Суммарное процентное соотношение отдельных видов ихтиопланктона в зоне влияния проекта «Ямал СПГ»

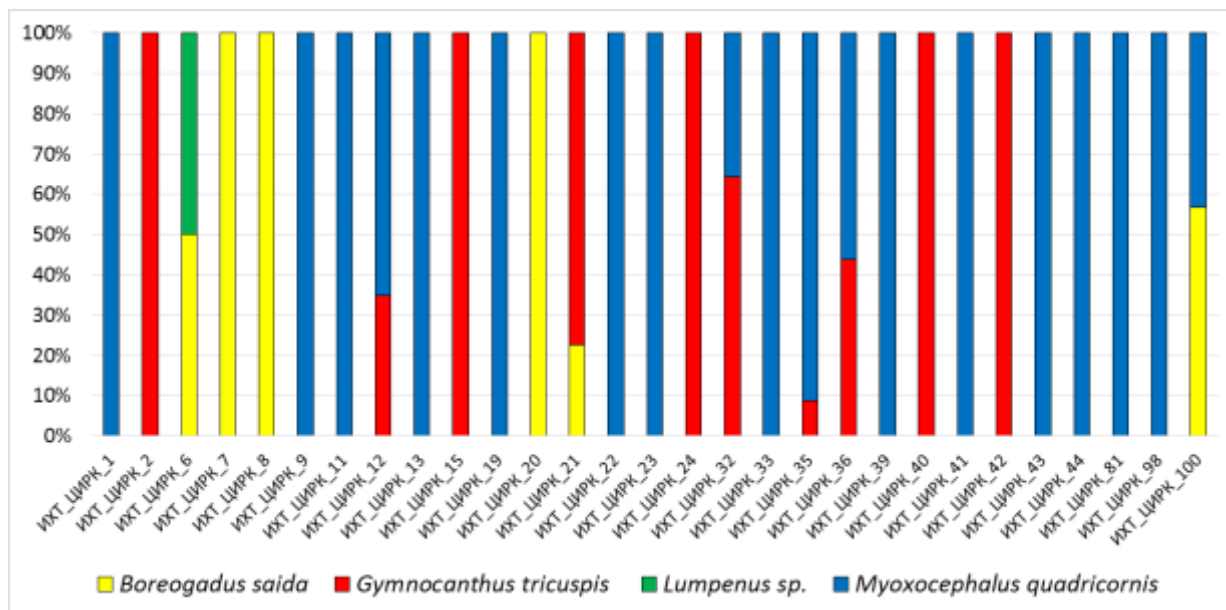


Рис. 1.5 - 6.

Работа с CTD-зондом YSI Castaway Процентное соотношение отдельных видов иктиопланктона на станциях мониторинга (без учета пустых станций)

В составе иктиопланктона была обнаружена молодь 4 видов рыб: четырёхрогий керчак, или четырёхрогий бычок/рогатка *Myoxocephalus quadricornis* (Linnaeus, 1758), сайка или полярная тресочка *Boreogadus saida* (Lepetchin, 1774), личинка рода люмпенус – *Lumpenus sp.* и арктический шлемоносный бычок, арктический шлемоносец *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830). Икры рыб в зоне влияния проекта «Ямал СПГ» в пробах обнаружено не было, а иктиопланктон был представлен личинками и мальками рыб, так как мониторинг проводился в сезон, когда самые ранние этапы развития большинства рыб уже пройдены. Результаты исследований, проведенных в 2019 г., соответствуют имеющимся литературным данным по составу, обилию и сезонной динамике иктиопланктонного сообщества на участке исследования. Из встреченных видов *M. quadricornis* является наиболее обычными и массовым видом в иктиопланктоне исследуемого участка Обской губы. Все перечисленные выше виды иктиопланктона были встречены во взрослой форме на участке исследования в предыдущие годы мониторинга (Инженерно-экологические..., 2011 г; Отчет ВНИРО, 2015).

Результаты исследований, проведенных в 2019 г., соответствуют имеющимся литературным данным по составу, обилию и сезонной динамике иктиопланктонного сообщества на участке исследования. Из встреченных видов *M. quadricornis* является наиболее обычными и массовым видом в иктиопланктоне исследуемого участка Обской губы. Все перечисленные выше виды иктиопланктона были встречены во взрослой форме на участке исследования в предыдущие годы мониторинга (Инженерно-экологические..., 2011 г; Отчет ВНИРО, 2015). Результаты исследований иктиопланктона на данный момент не свидетельствуют о возможном антропогенном влиянии, а находятся в пределах естественной изменчивости.

### 1.5.5. Зообентос

Всего в пробах зообентоса в 2019 г. зарегистрировано 83 таксона водных беспозвоночных. Из отдельных таксономических групп наибольшей встречаемостью характеризовались полихеты, которые были отмечены практически на всех станциях. Другими характерными группами зообентоса были бокоплавы (встречаемость 92%) и олигохеты (встречаемость 68%). Примерно на половине всех обследованных станций были отмечены кумовые и равноногие раки, а также двустворчатые моллюски, на трети всех станций – приапулиды и немертины.

Наибольшим разнообразием отличались полихеты (30 видов), бокоплавы (17 видов) и двустворчатые моллюски (13 видов). В зообентосе отмечены также 7 видов брюхоногих моллюсков, по 3 вида офиур и кумовых раков, по 2 вида актиний, равноногих ракообразных и приапулид. Остальные группы были представлены 1 видом каждая, или их видовая принадлежность не определялась.

Среднее видовое богатство зообентоса составило 8,2 вида на станцию, варьируя в диапазоне от 2 до 33. Максимальное видовое разнообразие было зафиксировано на станции 14 напротив о-ва Хаянго, минимальное – на станции 10 у о-ва Шокальского и станции 58 на южной границе обследованной акватории. Анализ распределения биоразнообразия показал, что повышенные величины видового богатства на станцию отмечались в северных частях исследованной акватории в районе устья Обской губы. Пониженное видовое богатство регистрировалось в южных районах обследованной акватории и в районе пос. Сабетта.

Средняя суммарная численность зообентоса обследованной акватории составила 737 экз./м<sup>2</sup>, варьируя в диапазоне от 17 до 5 413 экз./м<sup>2</sup>. Максимальное обилие зообентоса (в основном благодаря высокой численности полихет *Ampharete vega*) было зафиксировано на станции 38 севернее пос. Тамбей, минимальное – на станции 10 у о. Шокальского. Повышенное обилие бентоса было характерно для района пос. Сабетта и центральной части обследованной акватории между пос. Тамбей и о-вом Хаянго. Низкая численность бентоса наблюдалась как на южном разрезе, так и самых северных станциях на выходе из губы. В целом распределение суммарной численности бентоса по обследованной акватории было мозаичным, без выраженных трендов.

Средняя суммарная биомасса зообентоса обследованной акватории составила 26 г/м<sup>2</sup>, варьируя в диапазоне от 0,19 до 192 г/м<sup>2</sup>. Максимальное значение биомассы зообентоса (в основном благодаря высокой биомассе двустворчатых моллюсков *Portlandia arctica*) было зафиксировано на станции 27, расположенной в районе пос. Дровяной, минимальное – на станции 10 у о. Шокальского. Распределение биомассы, как и численности бентоса, было мозаичным, без выраженных трендов. Повышенное обилие бентоса чаще отмечалось в районе пос. Дровяной и о-ва Хаянго и было связано с максимумами развития либо двустворчатых моллюсков, либо полихет, либо равноногих раков. Пониженные биомассы наблюдались как на южном разрезе, так в районе пос. Сабетта и на самых северных станциях на выходе из губы.

Наиболее характерным сообществом для южной, наиболее распресненной части обследованной акватории Обской губы было сообщество *Marenzelleria*. Сообщество развивалось на типичных глубинах, но занятая им акватория характеризовалась максимальной средней температурой придонного слоя воды и минимальной соленостью. Данный участок Обской губы отличался большим разнообразием грунтов, но крупнозернистых осадков здесь было больше, чем в других обследованных районах. С

точки зрения структуры макрозообентоса сообщество отличалось минимальным видовым разнообразием (в отношении количества видов на станцию), отсутствием двустворчатых моллюсков, наличием личинок двукрылых и пониженной суммарной численностью донных организмов. Здесь же были отмечены минимальные значения индексов видового разнообразия. Необходимо отметить, что данное сообщество было обнаружено и на мелководной станции в северной части обследованной акватории у о. Шокальского при необычно низкой для данного района солености. Не исключено, что все восточное побережье обследованной части Обской губы, в той или иной степени подверженное влиянию пресноводного стока, заселено этим биоценозом, но оказалось необследованным из-за малых глубин в этой зоне.

На самом юге обследованной акватории отмечено сообщество *Monoporeia*+*Marenzelleria*. Оно отличалось низким количеством видов на станцию с доминированием по численности и биомассе бокоплавов *Monoporeia*. Общее количество зарегистрированных таксонов также было минимальным среди всех сообществ, хотя это могло объясняться и минимальной занимаемой площадью – всего 3 станции. Между тем, рассчитанные индексы видового разнообразия здесь оказались не самыми низкими, а индекс Пиелоу находился на уровне самых богатых видами сообществ. Это объяснялось отсутствием ярко выраженных доминант (превосходящих по численности другие виды на порядок величин) и относительной выровненностью обилия присутствующих видов. Необходимо отметить, что это сообщество было зарегистрировано не только на юге, но и в центральной части обследованной акватории в совершенно иных абиотических условиях в отношении типа грунта, солености и придонной температуры. Единственным сходным абиотическим показателем, объединявшим все 3 станции (сформировавшие данное сообщество), была глубина, которая варьировала между станциями в очень узком диапазоне – 10–12 м.

Севернее двух указанных сообществ располагался биоценоз *Ampharete*+*Pontoporeia*, занимавший самую обширную площадь на обследованной акватории. В полном соответствии со своим расположением средняя соленость в границах биоценоза была выше, а температура – ниже, чем в первых двух биоценозах. Сообщество характеризовалось относительно низким видовым разнообразием донных организмов (хотя оно было и выше, чем в южных биоценозах), включая двустворчатых моллюсков и полихет (разнообразие последних – почти на уровне южных биоценозов). При этом суммарная численность донных организмов за счет массового развития полихет здесь была максимальной.

В северной части обследованной акватории было отмечено 2 сообщества. На относительно мелководных станциях (впрочем, глубины здесь были вполне типичны для остальной обследованной акватории), располагавшихся ближе к берегам, зарегистрировано сообщество *Portlandia*+*Marenzelleria*. На глубоководных станциях в середине данной части Обской губы располагалось сообщество *Pectinaria*+*Portlandia*. Первое из этих сообществ развивалось в условиях повышенной по сравнению с южными сообществами солености, пониженной температуры и на более мелкозернистых грунтах. Количество видов на станцию и общее количество зарегистрированных видов здесь было заметно выше, чем в предыдущих сообществах. Здесь впервые появляются брюхоногие моллюски, существенно возрастает видовое разнообразие полихет и бокоплавов (хотя их численность, и биомасса существенно снижаются по сравнению с южными биоценозами). Суммарная биомасса

бентоса, благодаря двустворчатым моллюскам, существенно увеличивается по сравнению с более южными районами.

Второе из северных сообществ, занимавшее более глубоководную зону, формировалось в условиях, типичных для Карского моря. Средняя солёность здесь превышала 30‰, температура находилась в отрицательном диапазоне, глубины были существенно выше, чем в других обследованных районах и варьировали от 14 до 27 м. Несмотря на занимаемую обширную акваторию, характер грунтов здесь достаточно стабилен: отмечены только мелкозернистые осадки - алеврит глинистый, глина песчано-алевритовая и глина алевритовая. Макрозообентос характеризовался максимальным видовым разнообразием, как в расчёте на одну станцию, так и в отношении общего зарегистрированного числа видов. Индексы видового разнообразия имели максимальные значения. Двустворчатые и брюхоногие моллюски, а также полихеты представлены большим количеством видов. Здесь появляются типичные морские организмы – офиуры, актинии, при этом снижается видовое разнообразие бокоплавов и полностью исчезают олигохеты. За счёт возросшей биомассы двустворчатых моллюсков, полихет и равноногих раков суммарная биомасса бентоса достигала здесь максимальных величин.

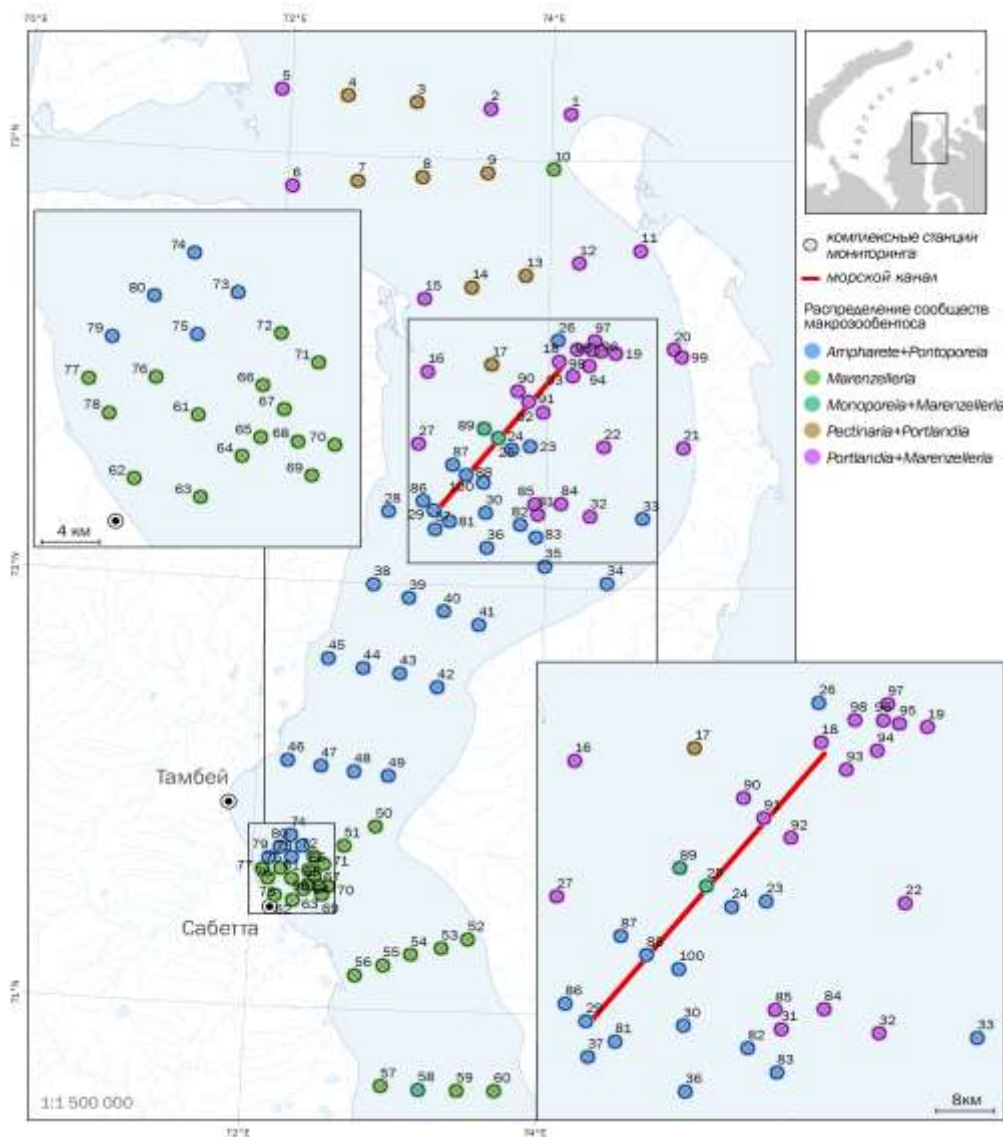


Рис. 1.5 - 7.

Сообщества макрозообентоса, выделенные статистическими методами



## 1.6. Оценка экологического состояния акватории порта Сабетта с точки зрения контроля риска вселения чужеродных видов с балластными водами

С целью контроля вселения чужеродных видов на обследованную акваторию был проведен анализ полученных данных с выявлением опасных видов-вселенцев, указанных в перечнях соответствующей глобальной базы данных (GISD – global invasive species database). Данная база администрируется группой специалистов по видам-вселенцам (ISSG – Invasive species specialist group) Международного союза охраны природы (МСОП) <http://www.iucngisd.org/gisd/>.

### 1.6.1. Обрастания причальных сооружений

В составе микрофитобентоса исследуемого района было отмечено 17 видов-индикаторов различных степеней органического загрязнения, из них 23% видов были индикаторами отсутствия органического загрязнения, доля индикаторов низкой степени загрязнения составила 18% от общего числа видов-индикаторов; доля видов-индикаторов средней степени органического загрязнения ( $\beta$ -мезосапробов) составила 59%.

Сообщество обрастания причальных сооружений в районе п. Сабетта сформировано диатомовыми видами – обрастателями, свободноживущими диатомеями мягких грунтов и фитопланктонными пресноводными видами. Видовой состав и количественные показатели развития комплекса обрастания соответствует сезонной стадии развития бентосных микроводорослей и фитопланктона Карского моря. В составе сообщества не выявлено чужеродных видов – вселенцев.

### 1.6.2. Фитопланктон

На сегодняшний день в всемирной базе данных опасных инвазивных видов (<http://www.iucngisd.org/gisd>) отмечено 3 вида фитопланктона, которые могут быть перенесены в балластных водах судов в Обскую губу вследствие их широкой распространенности. Это виды:

*Alexandrium minutum* (Miozoa/Dinophyceae) - динофлагеллята, которая образует цветение водорослей во многих прибрежных регионах мира (встречается в теплых, умеренных, прибрежных и эстуарных водах). Первоначально он был описан в результате красного прилива в Александрийской гавани. Токсины, вырабатываемые водорослью в высоких концентрациях, вызывают паралитические отравления моллюсками у людей. Токсины также могут воздействовать на другие компоненты экосистемы, включая млекопитающих, птиц, рыб и зоопланктон.

*Gymnodinium catenatum* (Miozoa/Dinophyceae) (= *Peridiniella catenata*) - вид всегда присутствует в морской воде, в низких концентрациях, и периодически его популяции испытывают экспоненциальный рост, вызывающий вредное цветение водорослей. Это фотосинтетический динофлагеллят, способный производить токсины, которые вызывают паралитическое отравление моллюсками. Может образовывать толстостенные кисты, которые могут выдерживать длительные периоды в условиях дефицита света и

питательных веществ. Эта особенность позволяет ему выживать даже в балластных водах лодок, поэтому он стал случайно колонизировать новые районы из-за антропогенного воздействия. Вид встречается во всех морях, но его распространение в них локализовано и часто выявляется только во время цветения водорослей. Среди стран, где это чаще всего наблюдается, - Аргентина, Уругвай, Венесуэла, Куба, Коста-Рика, Мексика, Испания, Португалия, Египет, Австралия и Япония ().

*Didymosphenia geminata* (Bacillariophyta) – пресноводный, литоральный, северо-альпийский вид, широко распространен, нередко в быстро текущих водах. Является широко распространённым видом, известным из Евразии, Австралии, Новой Зеландии и Америки, где вспышки развития в реках приводят к серьезным экологическим проблемам ([https://www.ibiw.ru/index.php?p=project/DIATOM/mgmt\\_genus&id=87](https://www.ibiw.ru/index.php?p=project/DIATOM/mgmt_genus&id=87)).

### 1.6.3. Зоопланктон

На данный момент в всемирную базу данных опасных инвазивных видов (<http://www.iucngisd.org/gisd>) входит 49 видов зоопланктона, которые могут быть перенесены в балластных водах судов. Из них в Обскую губу может быть занесено 4 вида планктонных беспозвоночных (Таблица 1.6—1). Данные виды представляют наибольшую опасность из-за их распространённости, а также эвригалинных свойств – способности выживать при различных значениях солёности.

Краткая характеристика видов:

#### 1. *Cercopagis pengoi*

Первичный ареал: Каспийское море; Современный ареал (мировой и конкретнее в России): бассейн Чёрного моря, водохранилища на Дону (Цимлянское водохранилище и др.) и Днепре (Каховское (водохранилище), Азовское море, Балтийское море. Обнаружен в Аральском море. Достиг Великих озёр Северной Америки. Распространяется с балластными водами судов. Обитает в пелагиали морей, пресноводных водоемов, озерах, проточной воде, прибрежных водах. Солоновато-водный эвригалинный вид, встречается в водах с солёностью до 13‰.

#### 2. *Mnemiopsis leidyi*

Первичный ареал: воды Атлантического океана, вдоль восточного побережья Америки от залива Наррагансетт; современный ареал: Черное, Азовское, Мраморное, Средиземное, Эгейское, Каспийское, Адриатическое, Северное и Балтийское моря. Гребневик встречается на побережье Бельгии, Дании, Германии, Нидерландов, Норвегии, Швеции. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Обладает многими характеристиками идеального вселенца: самооплодотворяющийся гермафродит; всеяден; выживает в широком диапазоне условий окружающей среды с варьированием солёности от 3.4 до 75 промилле и температур от 1.3 °C до 32 °C;

#### 3. *Phyllorhiza punctata*



Первичный ареал: Юго-Западная акватория Тихого океана; современный ареал: Карибское море, Персидский залив, Атлантический океан, Индийский океан. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Вид не эвригалинный, для обитания предпочитает прибрежные воды,

#### 4. *Pseudodiaptomus inopinus*

Первичный ареал: прибрежные воды Желтого моря; современный ареал: Восточно-Китайское, Южно-Китайское море, заливы Бохайский и Муйне, эстуарии рек Янцзы, Кун-Маньё, Тикуга, Мидори, Кума и Колумбия (провинция Британская Колумбия), прибрежные воды островов Нансей и Сахалин, у южного и западного побережья Кореи, у восточного и южного побережья Японии. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Обитает в водах с пониженной солёностью (от 0 до 12‰).

Таблица 1.6—1. Виды планктонных беспозвоночных, которые могут быть перенесены в балластных водах (<http://www.iucngisd.org/gisd/>)

№	Species	Phylum	Class	Order	Family
1	<i>Cercopagis pengoi</i>	Arthropoda	Branchiopoda	Diplostraca	Cercopagidae
2	<i>Mnemiopsis leidyi</i>	Ctenophora	Tentaculata	Lobata	Mnemiidae
3	<i>Phyllorhiza punctata</i>	Cnidaria	Scyphozoa	Rhizostomeae	Mastigiidae
4	<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>	Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida	Pseudodiaptomidae

Ни одного из указанных видов водных беспозвоночных в планктонных сообществах обследованной части Обской губы в 2019 г. не зарегистрировано.

В списках опасных инвазионных видов России (Самые ..., 2018) также приводятся наименования некоторых планктонных и бентосных организмов-вселенцев, способных оказать крайне неблагоприятное воздействие на экосистемы-реципиенты. Среди них перечислены, в частности, *Acartia tonsa* и *Oitona davisae*, как одни из самых распространённых эвригалинных инвазивных видов в Евразии, обитающих в эстуарных областях. Указанных видов беспозвоночных в планктонных сообществах Обской губы в 2019 г. также не было зарегистрировано.

Краткая характеристика видов:

#### *Acartia tonsa*

Первичный ареал: Атлантические прибрежные воды и эстуарии Северной Америки; современный ареал: моря Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Распространяется с балластными водами. Обитает в прибрежных водах и эстуариях. Эвритермный, эвригалинный вид.

#### *Oitona davisae*

Первичный ареал: прибрежные воды восточной Азии. Современный ареал: Тихий океан, Средиземное море, Черное море, Северное море, Бискайский залив.

Распространяется с балластными водами. Часто встречается в эстуариях. Относится к эвригалинным видам.

#### 1.6.4. Ихтиопланктон

На данный момент в базу входит 3 вида рыб, которые могут быть перенесены в балластных водах судов. Из них в Обскую губу может быть занесен 1 вид лучепёрых рыб (*Actinopterygii*) – ерш *Gymnocephalus cernuus* (L.). Однако по литературным данным этот вид уже много лет присутствует в фауне региона (Кашкина, 1962), поэтому его возможное повторное попадание в акваторию не несет рисков для ее экосистемы в целом.

#### 1.6.5. Макрозообентос

Согласно всемирной базе данных опасных инвазивных видов (<http://www.iucngisd.org/gisd/>), в балластных водах и на корпусах судов в виде обрастаний в Обскую губу может быть занесен 31 вид донных беспозвоночных (Таблица 1.6—2).

Ни одного из указанных видов донных беспозвоночных в донных сообществах Обской губы в 2019 г. не зарегистрировано.

Таблица 1.6—2 Виды донных беспозвоночных, которые могут быть перенесены в балластных водах и в обрастаниях судов (<http://www.iucngisd.org/gisd/>)

№	Вид	Род	Класс	Отряд	Семейство	Присутствие в Обской губе
1	<i>Alitta succinea</i>	Annelida	Polychaeta	Aciculata	Nereididae	Нет
2	<i>Ascidia aspersa</i>	Chordata	Ascidacea	Enterogona	Ascididae	Нет
3	<i>Asterias amurens</i>	Echinodermata	Asterozoa	Forcipulata	Asteriidae	Нет
4	<i>Bugula neritina</i>	Ectoprocta	Gymnolaemata	Cheilostomata	Bugulidae	Нет
5	<i>Caria riisei</i>	Cnidaria	Anthozoa	Alcyonacea	Clavariidae	Нет
6	<i>Cipangopaludina chinensis</i>	Mollusca	Gastropoda	Architaenioglossa	Viviparidae	Нет
7	<i>Corbicula fluminea</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Corbiculidae	Нет
8	<i>Crassostrea gigas</i>	Mollusca	Bivalvia	Ostreoida	Ostreidae	Нет
9	<i>Didemnum</i> spp.	Chordata	Ascidacea	Enterogona	Didemnidae	Нет
10	<i>Dreissena bugensis</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Dreissenidae	Нет
11	<i>Dreissena polymorpha</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Dreissenidae	Нет
12	<i>Eriocheir sinensis</i>	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Grapsidae	Нет
13	<i>Geukensia demissa</i>	Mollusca	Bivalvia	Mytiloida	Mytilidae	Нет
14	<i>Limnoperna fortunei</i>	Mollusca	Bivalvia	Mytiloida	Mytilidae	Нет
15	<i>Musculista senhousia</i>	Mollusca	Bivalvia	Mytiloida	Mytilidae	Нет
16	<i>Mya arenaria</i>	Mollusca	Bivalvia	Myoida	Myidae	Нет
17	<i>Mycale grandis</i>	Porifera	Demospongiae	Poecilosclerida	Mycalidae	Нет
18	<i>Mytilopsis sallei</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Dreissenidae	Нет
19	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mollusca	Bivalvia	Mytiloida	Mytilidae	Нет
20	<i>Perna perna</i>	Mollusca	Bivalvia	Mytiloida	Mytilidae	Нет
21	<i>Perna viridis</i>	Mollusca	Bivalvia	Mytiloida	Mytilidae	Нет
22	<i>Potamocorbula amurens</i>	Mollusca	Bivalvia	Myoida	Corbulidae	Нет
23	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Hydrobiidae	Нет
24	<i>Rangia cuneata</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneroida	Mactridae	Нет
25	<i>Rapana venosa</i>	Mollusca	Gastropoda	Neogastropoda	Muricidae	Нет

№	Вид	Род	Класс	Отряд	Семейство	Присутствие в Обской губе
26	<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Panopeidae	Нет
27	<i>Sabella spallanzanii</i>	Annelida	Polychaeta	Canalipalpa	Sabellidae	Нет
28	<i>Schizoporella errata</i>	Ectoprocta	Gymnolaemata	Cheilostomata	Schizoporellidae	Нет
29	<i>Styela clava</i>	Chordata	Ascidacea	Pleurogona	Styelidae	Нет
30	<i>Styela plicata</i>	Chordata	Ascidacea	Pleurogona	Styelidae	Нет
31	<i>Tubastraea coccinea</i>	Cnidaria	Anthozoa	Scleractinia	Dendrophylliidae	Нет

Кроме того, в списке самых опасных инвазионных видов России (Самые ..., 2018) приводятся наименования некоторых бентосных организмов-вселенцев, способных оказать крайне неблагоприятное воздействие на экосистемы-реципиенты. Среди них перечислены:

1) *Amphibalanus improvisus*

Первичный ареал: прибрежные воды Атлантического побережья Северной и Южной Америк. Современный ареал в России: прибрежные воды российского сектора Балтийского моря; Вислинский и Финский заливы, воды залива Петра Великого (Японское море); Азовское, Чёрное, Каспийское моря. Распространяется с балластными водами.

2) *Anadara kagoshimensis*

Первичный ареал: широко распространен в Индо-Пацифике; Современный ареал: кроме Индо-Пацифики, присутствует в Средиземном и Адриатическом морях. Распространяется с балластными водами. Эвритермный и Эвригалинный вид.

3) *Arcuatula senhousia*

Первичный ареал: прибрежные воды западной части Тихого океана. Современный ареал: Тихий, Атлантический, Индийский океаны. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Обитает в прибрежных водах, эвригалинный вид.

4) *Dikerogammarus villosus*

Первичный ареал: эстуарии рек Черного моря. Современный ареал: бассейны большинства Европейских рек, а также Балтийское море. Распространяется с балластными водами судов. Эвритермный и эвригалинный вид.

5) *Gammarus tigrinus*

Первичный ареал: эстуарии атлантического побережья Северной Америки. Современный ареал: Северное море, Балтийское море, включая Рижский и Финский заливы, западное побережье Шотландии, Кельтское море, Бискайский залив. Страны: Финляндия, Ирландия, Великобритания, Бельгия, Нидерланды, Германия. Калининградский залив, Финский залив. Распространяется с балластными водами судов. Эвригалинный вид.

6) *Lithoglyphus naticoides*

Первичный ареал: реки бассейна северо-запада Черного моря и Дуная. Современный ареал: внутренние воды Европы. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Моллюск обитает в реках, озерах, каналах и водохранилищах.

7) *Magallana gigas*

Первичный ареал: тихоокеанское побережье Японии. Современный ареал: Северная Америка, Австралия, Европа Атлантического побережья Европы и Новую Зеландию. Обитает на Востоке России. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Эвритермный и эвригалинный вид.

8) *Molgula manhattensis*

Первичный ареал: Атлантическое побережье США. Современный ареал: Адриатическое, Черное, Ваттовое моря, Северная часть Атлантического океана (от Норвегии до Португалии), Северная часть Тихого океана, Северном и Каспийском морях, проливе Ла-Манш, Коралловом море распространяется с балластными водами и корпусами судов. Эвригалинный и эвритермный вид.

9) *Monocorophium archerusicum*

Первичный ареал: атлантическое побережье Северной Америки. Современный ареал: обитает в бассейнах Атлантического, Тихого и Индийского океанов. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Вид-обрастатель.

10) *Mytilopsis leucophaea*

Первичный ареал: Опресненные прибрежные воды Мексиканского залива. Современный ареал: эстуариях, нижних и средних течениях крупных рек, прибрежные воды Северной и Южной Америки. Каспийское, Азовское и Чёрное моря. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Эвритермный вид.

11) *Paralithodes camchaticus*

Первичный ареал: Северная часть Тихого океана Современный ареал: Инвазионная часть ареала - Баренцево море. Был завезён с целью промысла. Обитает в сублиторали.

12) *Platorchestia platensis*

Первичный ареал: атлантическое побережье Южной Америки. Современный ареал: обитает на побережьях бассейнов Атлантического, Тихого и Индийского океанов. Распространяется с балластом. Эвригалинный и эвритермический вид.

13) *Pontogammarus robustoides*

Первичный ареал: Прибрежные зоны Черного, Каспийского и Азовского морей; низовья крупных рек Понто-Каспийского бассейна (Волга, Дон, Днепр, Днестр, Дунай, Кубань, Терек, Кура, Буг, Прут Современный ареал: Нижнее течение и эстуарии рек Волга, Дон, Буг, Днепр, Днестр, Дунай, Прут, Терек, Кура, Кубань и т. д. Распространяется с балластными водами и корпусами судов, также был намеренно вселён в часть акваторий. Характерен для прибрежных вод.

*14) Rhithropanopeus harrisii*

Первичный ареал: Атлантические воды Северной Америки. Современный ареал: распространился в Средиземном, Северном, Черном, Каспийском, Балтийском и Аральском морях. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Эвригалинный вид.

*15) Teredo navalis*

Первичный ареал: Северо-восточная часть Атлантического океана. Современный ареал: Завезён в Балтийское море, Средиземное море и восточную часть Тихого океана. Распространяется с балластными водами и корпусами судов. Эвритермный и эвригалинный вид.

Ни одного из указанных видов беспозвоночных в донных сообществах Обской губы в 2019 г. также не было зарегистрировано.

## 2. Виды и объемы работ

### 2.1. Экспедиционные работы

Полевые работы проводились в акватории морского порта Сабетта и морской части Южно-Тамбейского месторождения в безледный период с 6 по 10 сентября 2021 года, обеспечивающий безопасность судна и персонала, а также возможность проведения всего комплекса работ в соответствии с согласованными объемом и сроками.

Согласно цели и задачам Комплексной программы, объем выполненных полевых работ:

1. Сбор данных для мониторинга состояния гидробиоценозов акватории морского порта Сабетта (включая подходной канал), направленного на раннее обнаружение и предотвращение вселения опасных инвазивных видов:
  - Выполнение комплексного отбора проб (не менее 15 точек в акватории порта)
  - Выполнение комплексного отбора проб (не менее 5 точек в районе дампинга грунта)
2. Отбор проб для контроля обрастаний на портовых сооружениях;
  - Отбор выполнялся подрядными организациями, обслуживающими портовую инфраструктуру;
3. Отбор проб для контроля состояния балластных вод из судовых танков путем молекулярно-генетического анализа.
4. На точках комплексного отбора проб производились следующие анализы:
  - STD-зондирование (от поверхности до дна); измерения глубины, температуры, солености.
  - Отбор проб ихтио-, фито- и зоопланктона.
  - Отбор проб донных отложений на гранулометрический состав.
  - Отбор проб донных отложений на загрязняющие вещества.
  - Отбор проб бентоса на определение видового состава и биомассы.
5. Сбор фото- и видеоматериалов о проведении работ.
6. Доставка собранных проб для лабораторного анализа (соблюдались все требуемые условия при транспортировке и хранении проб, химические пробы доставлены в соответствующие аккредитованные лаборатории).

## 2.2. Камеральная обработка

В рамках камеральной обработки полученных данных был выполнен анализ собранных проб и данных, подготовка промежуточного отчета:

- Анализ собранных проб в аккредитованных и специализированных лабораториях профильными специалистами ООО «Лаборатория» (аттестат аккредитации RA.RU.21AK94 выдан 24 октября 2016 г.);
- Изучение видового состава, структуры, количественных характеристик, биопродуктивности и динамики фитопланктона и зоопланктона, включая ихтиопланктон;
- выявление состава, структуры, количественных характеристик, биопродуктивности и динамики сообществ бентоса, обитающих на разных грунтах и глубинах;
- Выявление состава, структуры, количественных характеристик и динамики сообществ обрастаний на причальных сооружениях порта Сабетта;

На основании проведённых исследований проведена оценка экологического состояния акватории порта Сабетта с точки зрения контроля риска вселения чужеродных видов с балластными водами в 2021 году.

После завершения работ по сбору и камеральной обработке данных в 2021 году была произведена систематизация данных и подготовка итогового отчета для ОАО «Ямал СПГ»; Передача систематизированных данных ОАО «Ямал СПГ» в соответствии с требованиями к формату данных.

## 2.3. Объем работ

Объемы работ, выполненных в 2021 году в рамках мониторинга состояния окружающей среды представлены в таблице 2.4–1;

Таблица 2.3—1 – Объем гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований

Наименование параметра	Исследуемые показатели	Число станций / точек	Число проб / измерений
Зондирование на гидрологических профилях	Температура, соленость	20	20
Донные отложения	Физические и механические свойства: гранулометрический состав, предельный кислородный индекс, сухой удельный вес. Химические параметры: углеводороды, органический углерод, тяжелые металлы (ртуть, медь, цинк, хром, никель, свинец, кадмий) и мышьяк, бенз(а)пирен.	20	20
Фитопланктон	Видовой состав, численность, биомасса (отбор производится у поверхности, у дна и в толще воды)	20	60



Фитопланктон	Первичная продукция, концентрация хлорофилла «а» (отбор производится у поверхности, у дна и в толще воды)	20	60
Зоопланктон	Видовой состав, численность, биомасса	20	20
Ихтиопланктон	Численность и видовой состав икры, личинок и молоди рыб	20	20
Бентос	Видовой состав, численность, биомасса, перечень основных сообществ	20	60
Обрастания портовых сооружений (перифитон)	Видовой состав, численность, биомасса	4 (по наличию обрастаний)	4
Исследование балластных вод на присутствие ДНК инвазивных видов молекулярно-генетическим методом	Видовой состав	1	1

### Информационно-измерительная сеть станций

Расположение точек фактического отбора проб представлено на рисунке 1.2–1. Координаты точек представлены в Таблица 2.3—2;

Таблица 2.3—2 – Планируемые координаты станций

№ станции	Долгота, в.д.	Широта, с.ш.	Участок работ
1	72,28165	71,30117	район порта Сабетта
2	72,1693	71,25978	район порта Сабетта
3	72,2935	71,24972	район порта Сабетта
4	72,36635	71,2766	район порта Сабетта
5	72,39933	71,28867	район дампинга грунта
6	72,39907	71,32125	район порта Сабетта
7	72,43995	71,30668	район дампинга грунта
8	72,46853	71,28682	район дампинга грунта
9	72,49683	71,2661	район дампинга грунта
10	72,537	71,28578	район дампинга грунта
11	72,50033	71,33683	акватория порта Сабетта
12	72,42912	71,3542	акватория порта Сабетта
13	72,34493	71,37853	акватория порта Сабетта
14	72,26085	71,40223	район порта Сабетта
15	72,27308	71,35133	район подходного канала
16	72,20018	71,32363	район порта Сабетта
17	72,0763	71,3212	район подходного канала
18	72,11715	71,29982	район подходного канала
19	72,1158	71,34803	район порта Сабетта
20	72,19027	71,37462	район порта Сабетта



### 3. Организация работ

#### 3.1. Экспедиционные суда

Для выполнения полевых работ в рамках комплексной программы мониторинга экологического состояния Обской губы в зоне влияния проекта «ЯМАЛ СПГ» ООО «ЦМИ МГУ» привлечено Исследовательское судно «Картеш» (Рисунок 3.1, Таблица 3.), (судовладелец ООО «Картеш»), а также водный транспорт (буксир «ПУР», судовладелец ФГУП «Атомфлот»), предоставленный заказчиком.

Суда соответствовали требованиям законодательства РФ, Российского морского регистра судоходства, требованиям международных конвенций. Суда полностью укомплектованы квалифицированным экипажем и оснащено всем необходимым оборудованием для безопасного производства работ. Судно соответствовало нормативам МАРПОЛ 73/78 в области утилизации отходов и сбора масляных жидкостей и соответствует международным конвенциям.



**Рис. 3.1 - 1.** Рисунок 3.1 – ИС «Картеш»

Таблица 3.1 – Технические характеристики ИС «Картеш»

Параметр	Значение
Класс РМРС	КМ*L4 R1,
Постройка	Астрахань, 1973, проект 388М; модернизация: 1988, 2008, 2014
Номер IMO	7427051
Позывной	UBXJ
Порт приписки	Мурманск
Флаг	Российская Федерация
Размеры:	
длина	34,01 м

Параметр	Значение
ширина	7,00 м
Осадка максимальная	2,9 м
Высота борта	3,68 м
Валовая вместимость	189 т
Водоизмещение	330 т
Скорость максимальная	9 уз.
Экипаж	12 чел.
Научный состав	12 чел.
Жилые помещения:	6 двухместных кают с санузлами для командированных; 2 двухместные, 2 четырехместные и 1 одноместная каюты для экипажа, санкаюта, лаборатория, малая кают-компания, большая кают-компания, душевая, сушилка, камбуз, провизионные и технические кладовые, сетной трюм.
Лабораторные помещения:	
сухая лаборатория	18 м <sup>2</sup>
мокрая лаборатория	10 м <sup>2</sup>
Силовая установка	Главный двигатель 8NVD 36-1U, 224 кВт
Генераторы	2х60 кВт + 1х30 кВт
Судовая сеть	220/380В/50Гц
Вместимость танков:	
топливо	22 м <sup>3</sup>
масло	2 м <sup>3</sup>
пресная вода	12 м <sup>3</sup>
опреснитель	4 м <sup>3</sup> в сутки
сточные воды	6 м <sup>3</sup>
льляльные воды	3 м <sup>3</sup>
отработанное масло	1 м <sup>3</sup>
Палубное снаряжение:	
Стрелы носовые	2 шт.
Грузоподъемностью 2000 Кг	
Стрела кормовая 300 Кг	1 шт.
Гидротермокостюмы	27 шт.
Страховочные жилеты	8 шт.
Спасательные жилеты	27 шт.
Спасательные плоты	3х10 чел. по левому борту + 3х10 чел. по правому борту
Лодки моторные: «Зодиак», хайпалон-неопрен, 5.3 м, 6-8 чел, 50 л.с.	1 шт.
«Посейдон», ПВХ, 5.2 м, 6-8 чел, 50 л.с.	2 шт.
Гидрологические лебедки:	
Грузоподъемностью 800 Кг	1 шт.
Грузоподъемностью 250 Кг	1 шт.
Лодки моторные:	«Зодиак», хайпалон-неопрен 5.3 м, вместимость 6-8 чел., 50 л.с. - 1 шт. «Посейдон», ПВХ, 5.2 м, 6-8 чел, 50 л.с. – 2 шт.
Автономность судна:	По топливу на полном ходу - 22 сут., по пресной воде и стокам на ходу/на стоянке - без ограничений.
Оборудование обеспечения научных работ:	- А-рама гидравлическая, с гидростанцией. - Лебедка кормовая ТЛ-14, 300 кг, трос 80 м. Вылет 1,5 м для использования оборудования. - Штанга для приборов 6 м. - Штанга выносная на петлях для легких приборов - 1 комплект. - Лебедка носовая, 900 кг, трос 500 м. Работает в паре с гидравлической рамой.
Дополнительное научное оборудование	- Комплект океанографического оборудования для измерения скоростей течений, параметров волнения, температуры, электропроводности и давления воды

Параметр	Значение
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Комплект оборудования для отбора гидробиологических проб, а также проб воды и донных отложений.</li> <li>- Комплект лабораторного оборудования для выполнения наборных гидробиологических и гидрохимических исследований.</li> </ul>

### 3.2. Технические средства и оборудование





Для проведения работ по экологическому мониторингу, включающих гидрологические измерения и пробоотборные операции было использовано оборудование, представленное в

**Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 3.2. – Оборудование для проведения исследований

№	Наименование и описание	Фото	Назначение оборудования
1	Прибор вакуумного фильтрования 3-секционный ПВФ-47/3. 2017		Фильтрация воды на хлорофилл и гидрохимические анализы
2	Лебедка исследовательская специальная 10 кН Производство ООО «Тетраматика», 2015		Спускоподъемные операции
3	Камера обратной фильтрации для фитопланктона		Концентрирование проб фитопланктона
4	Батометры Ocean Test Equipment Standard B, объем 10.0 л.		Отбор проб воды для проведения гидробиологических исследований
5	Батометры Ocean Test Equipment Standard B, объем 5.0		Отбор проб воды для проведения гидробиологических исследований



№	Наименование и описание	Фото	Назначение оборудования
6	Зонд CTD YSI CastAway до 100 метров, производство SonTek		Гидрологические исследования (гидрологические зондирования)
7	Диски Секки, Производство ООО «НПФ «Вольта», 2017		Гидрологические исследования
8	Дночерпатели «Океан-0,1», Производство ИП «Клименко», 2017 г.		Отбор донных отложений и макробентоса
9	Дночерпатели «Океан-0,025», Производство ИП «Клименко», 2017 г.		Отбор донных отложений и макробентоса
10	Сети ИКС-80 для лова ихтиопланктона, производство ИП «Мухачева», 2017		Отбор проб ихтиопланктона
11	Сети Джеди для лова зоопланктона, производство ИП «Мухачева», 2017		Отбор проб зоопланктона
12	Промывочные сита для бентоса, производство ИП «Мухачева», 2017		Промывка проб макрозообентоса

## 4. Методика выполнения работ

### 4.1. Экспедиционные работы

#### 4.1.1. Последовательность выполнения работ на станциях

Мобилизация персонала и оборудования была проведена 6 сентября 2021 года на ИС «Картеш» (

Приложение В. Акт мобилизации). 6 сентября было выполнено 4 станции в акватории Южно-Тамбейского ЛУ (Приложение Е. Акты ежедневной отчётности). 7 сентября из-за погодных условий, препятствующих выполнению операций по отбору проб, работы не выполнялись. 8 сентября было выполнено 10 станций в акватории Южно-Тамбейского ЛУ. 9 сентября было выполнено 3 станции в акватории Южно-Тамбейского ЛУ. 10 сентября полевая партия и оборудование были мобилизованы на буксир «ПУР», предоставляемый ОАО «Ямал СПГ», после чего было выполнено 3 станции в акватории морского порта Сабетта. После завершения полевых работ, 10 сентября 2021 года персонал и оборудование были демобилизованы на ИС «Картеш» (Приложение Г. Акт демобилизации).

Работы на станциях комплексной программы мониторинга экологического состояния гидробиоценозов акватории морского порта Сабетта для раннего обнаружения и предотвращения вселения опасных чужеродных инвазивных видов начинались с выхода судна в район точки. Далее в районе точки в течение 10 минут судно осуществляло циркуляционный лов ихтиопланктона с помощью сети ИКС-80 на скорости судна не более 2 узлов. По окончании циркуляционного лова, судно фиксировалось в точке с помощью якоря. После выставления судна на точку работы выполнялись в следующей последовательности:

- STD-зондирование;
- Исследование состояния фитопланктона с 2–3 горизонтов в зависимости от глубины и наличия/отсутствия слоя скачка солёности: подповерхностного – в пределах одного метра от поверхности моря, слоя скачка гидрофизических параметров – пикноклина (над слоем, при его наличии), и придонного;
- Отбор проб зоопланктона с помощью сети Джеди;
- Отбор донных отложений с помощью дночерпателя для геохимических анализов и анализа гранулометрического состава осадка;
- Отбор и промывка донных отложений для исследования состояния макрозообентоса.

По окончании работ на станции (или в случае резкого ухудшения погоды) судно снималось с якоря (если постановка на якорь была произведена) и переходило в следующую точку (или в место укрытия).

#### 4.1.2. Гидрологические исследования

Исследования проводились на 20 станциях. В ходе океанографических зондирований были определены вертикальные профили водной толщи от поверхности до дна по следующим показателям: температура, солёность при помощи STD-зонда YSI Castaway (

Данные работы не были запланированы в техническом задании, но они необходимы для более качественной оценки состояния биоценозов акватории морского порта Сабетта и Южно-Тамбейского ЛУ.



**Рис. 4.1 - 1.** Работа с CTD-зондом YSI Castaway

#### 4.1.3. Исследование качества донных отложений

Для исследования гранулометрического состава и уровня загрязнения донных отложений производился отбор проб (Приложение Д 2. Акт отбора проб донных отложений) (по одной пробе на каждой станции) с помощью дночерпателя Океан-0,1 (работы на ИС «Картеш») ((рис.4.1-2)), или Океан-0,025 (работы на буксире «ПУР»).

Отбор проб производился на всех комплексных станциях. Отбор проб грунтов осуществлялся в то же время и в том же месте, где отбираются планктонные и бентосные пробы.

В пробах донных отложений определялись следующие показатели:

- физические и механические свойства:
  - гранулометрический состав,
  - сухой удельный вес.
- химические параметры:
  - углеводороды
  - органический углерод
  - тяжелые металлы (ртуть, медь, цинк, хром, никель, свинец, кадмий) и мышьяк,
  - бенз(а)пирен,

Анализ донных отложений выполнялся в специализированной лаборатории ООО «Лаборатория» (Приложение Б. аттестат аккредитации RA.RU.21AK94 выдан 24 октября 2016 г.).



Рис. 4.1 - 2. Отбор донных отложений дночерпателем «Океан-0,1»

#### Оценка степени загрязнения донных отложений

Для оценки загрязнённости донных отложений в качестве норматива был использован голландский документ «Dutch Target and Intervention Values» (2000) – «Голландские листы» (Warmer, van Dokkum, 2002), разработанный Министерством охраны окружающей среды и пространственного развития Нидерландов и регламентирующий целевой уровень, и уровень вмешательства для донных отложений по основным загрязняющим веществам с учетом содержания глинистой фракции и органического вещества. В РФ существует аналог «Голландских листов» - региональный норматив «Нормы и критерии оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга» (Нормы и критерии..., 1996).

Степень опасности концентраций загрязняющих веществ зависит от качественного состава донных отложений. Поэтому все концентрации необходимо пересчитывать на уровень стандартных донных отложений. Стандартные отложения имеют следующий состав: 10% содержания органического вещества и 25% содержания глинистой фракции.

Для неорганических загрязнителей используется формула:

$$N' = N_0 \times \frac{A + B \times 25 + C \times 10}{A + B \times \% \text{глинистой фракции} + C \times \% \text{органического вещества}}$$

где:

$N'$  – концентрация, пересчитанная на стандарт;

$N_0$  – измеренная концентрация вещества;

% глинистой фракции – процентное содержание глинистой фракции в образце;

% органического вещества – процентное содержание органического вещества в образце;

A, B, C – переводные коэффициенты для металлов (Таблице 4.1–1).

Таблица 4.1–1. Коэффициенты для металлов

	A		B	C
<b>Cu</b>	15		0,6	0,6
<b>Zn</b>	50		3	1,5
<b>Ni</b>	10		1	0
<b>Cr</b>	50		2	0
<b>Pb</b>	50		1	1
<b>Cd</b>	0,4		0,007	0,021
<b>Hg</b>	0,2		0,0034	0,0017
<b>As</b>	15		0,4	0,4
<b>Sn</b>	4		0,6	0
<b>Ba</b>	30		5	0

Для органических веществ (нефтепродукты) используется формула:

$$N' = N_0 \times \frac{10}{\% \text{органического вещества}}$$

Если содержание органического вещества в пробе менее 2%, используется поправочный коэффициент 2; если больше 30%–30.

Концентрация каждого загрязняющего вещества классифицируется в соответствии с уровнями загрязнения (Таблице 4.1–2):

Таблица 4.1–2. Уровни загрязнения донных отложений по концентрациям загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Целевой уровень	Предельный уровень	Проверочный уровень	Уровень вмешательства
Кадмий (Cd)	0,8	2	7,5	12
Ртуть (Hg)	0,3	0,5	1,6	10
Медь (Cu)	35	35	90	190
Никель (Ni)	35	35	45	210
Свинец (Pb)	85	530	530	530
Цинк (Zn)	140	480	720	720
Хром (Cr)	100	380	380	380
Мышьяк (As)	29	55	55	55
Барий (Ba)	160	-	-	625
Нефтепродукты	50	1000	3000	5000

Донные отложения по степени загрязнения подразделяются на 5 классов (Таблице 4.1–3).

Таблица 4.1–3. Классификация донных отложений

Класс 0. Чистые отложения	Концентрация загрязняющих веществ ниже целевого уровня
Класс I. Слабозагрязненные отложения	Концентрация загрязняющих веществ находится между целевым и предельным уровнями
Класс II. Умеренно загрязненные отложения	Концентрация загрязняющих веществ находится между предельным и проверочным уровнями
Класс III. Сильно загрязненные отложения	Концентрация загрязняющих веществ находится между проверочным и уровнем вмешательства



Класс IV. Опасно загрязненные отложения	Концентрация загрязняющих веществ выше уровня вмешательства
---	---

#### 4.1.4. Гидробиологические исследования

##### Исследование состояния фитопланктона

Отбор проб на определение количественных и качественных показателей фитопланктона (Приложение Д 4. Акт отбора проб фитопланктона) производился батометром Нискина (Рисунок 4.1-3) с 2–3 горизонтов в зависимости от глубины и наличия/отсутствия слоя скачка солености: подповерхностного – в пределах одного метра от поверхности моря, слоя скачка гидрофизических параметров – пикноклина (над слоем, при его наличии), и придонного. Отбор проб на определение концентрации хлорофилла «а» и первичной продукции производился батометром Нискина из поверхностного горизонта. При наличии слоя скачка пробы на хлорофилл «а» также отбирались также над слоем скачка. Для фитопланктона определялись количественные и качественные показатели (видовой состав, численность и биомасса), концентрация хлорофилла «а», первичная продукция.



**Рис. 4.1 - 3.**

Рисунок 4.3 – Отбор проб морской воды батометром Нискина, закрывающимся с помощью посыльного груза

##### **Фиксация фитопланктона (для определения качественных и количественных характеристик)**

Пробы объемом 1000 мл морской воды отбирали из батометра в темные пластиковые бутылки.

Далее пробы фильтровали с использованием камеры обратной фильтрации (рис.4.1-4), состоящей из двух отсеков, разделенных лавсановой перфорированной мембраной толщиной 10 мкм и диаметром пор 2 мкм (Современные методы..., 1983). Емкость с отобранной пробой

находилась на высоте 40 см над камерой, таким образом, вода в камеру поступала под давлением 0,04 атм. Метод обратной фильтрации является наиболее щадящим для концентрации проб фитопланктона, поскольку токи воды, проходящие в камере снизу-вверх, под низким давлением не разрушают хрупкие клетки микроводорослей и не пропускают мелкие клетки, размер которых меньше диаметра пор через мембрану (Практическое руководство..., 2010).

По окончании фильтрации концентрат (около 50–60 мл) сливали в темную стеклянную или пластиковую банку с завинчивающейся крышкой объемом 350 мл. Для дальнейшей обработки пробы фиксировали 4% формалином и, в дальнейшем, транспортировали в стационарную лабораторию, где они были проанализированы.



**Рис. 4.1 - 4.** Камера обратной фильтрации

### **Определение концентрации хлорофилла «а»**

Для определения концентрации хлорофилла «а» (Приложение Д 5. Акт отбора проб на хлорофилл «А»), пробы объемом 0,3 л фильтровали через фильтры марки ФМАЦ-0,45 мкм, диаметром 47 мм при разряжении до 0,3 атм. Затем фильтры подсушивали на фильтровальной бумаге в закрытой коробке. Высушенные и промаркированные фильтры раскладывали (соответственно станциям) в чашки Петри, вложили туда конверты с силикагелем, заморозили, и в замороженном состоянии доставили в лабораторию, где они были проанализированы.

### **Фиксация проб на определение первичной продукции фитопланктона**

Первичная продукция исследовалась хлорофильным методом (1 л с горизонта, фильтрация на фильтр, заморозка), но на других горизонтах (Приложение Д 6. Акт отбора проб на определение первичной продукции).

Отбор проб на определение первичной продукции осуществляли по 4-м горизонтам освещенности - 100%, 50%, 10% и 1% от начальной.

Горизонт 100% (поверхность) совмещался с пробами на исследование хлорофилла «а». Освещённость определялась с помощью диска Секки.

- Горизонт 100% освещенности – это поверхность (данные, полученные при анализе пробы хлорофилла идут и для расчета ПП)
- Как правило, глубины остальных горизонтов освещенности не совпадают со стандартными горизонтами (скачок и дно). На них пробы выбирались отдельно.

Нижняя граница фотической зоны (1% исходной освещенности) выбиралась приблизительно как глубина утроенной прозрачности по диску Секки.

Пробы были транспортированы в лабораторию и проанализированы.

### **Исследование состояния зоопланктона**

Отбор проб зоопланктона (Приложение Д 8. Акт отбора проб зоопланктона) производился методом тотального облова вертикально от придонного слоя до поверхности с использованием планктонных сетей (типа Джеди (БСД-37), размер ячеей фильтрующего конуса 180 мкм, диаметр входного отверстия 37 см) ((рис.4.1-5)). Пробы зоопланктона сгущались до стандартного объема, помещены в полиэтиленовые банки и зафиксированы 4% раствором формальдегида, нейтрализованным тетраборатом натрия.

Пробы транспортировали в стационарную лабораторию. В пробах зоопланктона были проанализированы следующие показатели: видовой состав, общая численность и биомасса (экз./м<sup>3</sup> и г/м<sup>3</sup>).



**Рис. 4.1 - 5.**

Отбор проб зоопланктона сетью Джеди

В дальнейшем, окрашенные красителем бенгальский розовый (rose Bengal) пробы анализировали в камере Богорова под стереомикроскопом Микромед MC3 Zoom LED. Идентификацию организмов проводили под световым микроскопом Olympus CX 22 LED.

Определяли следующие параметры: таксономический состав; общую численность (экз/м<sup>3</sup>); численность отдельных видов (экз/м<sup>3</sup>); общую биомассу (мг/м<sup>3</sup>); биомассу отдельных видов (мг/м<sup>3</sup>); пространственное распределение количественных показателей. Полученные величины численности организмов пересчитывали на весь объем пробы. Данные первичной обработки проб занесены в первичную базу данных. Для расчета весовых характеристик организмов использовались номограммы зависимости длина-масса, либо фигура организма приравнивалась к сходной геометрической фигуре (Численко, 1968).

Организмы идентифицировали до типов, классов, отрядов, по возможности – также до родов и видов. В ряде случаев изготавливали временные препараты в глицерине. На рисунке 4.1.-6 представлены фотографии ряда организмов, характерных для изученного района, из обработанного материала.



**Рис. 4.1 - 6.** Планктонные организмы, характерные для изученного района: А. – Cyclopoida: *Oithona similis*; Б. – Calanoida: *Calanus finmarchicus*

В качестве основного определителя применяли «Определитель фауны и флоры северных морей СССР» (ред. Гаевская, 1948) и электронный ресурс Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods, 2016. Кроме того, для идентификации представителей подкласса *Copepoda* использовали ключи по *Calanoida*: Бродский, 1950; Frost, 1989.

Общая схема обработки проб согласуется с основными методическими источниками (Федоров, Капков, 2006).

### **Исследования ихтиопланктона**

Исследования ихтиопланктона (Приложение Д 3. Акт отбора проб ихтиопланктона) выполнялись на каждой станции. Отбор проб осуществлялся с борта судна ихтиопланктонной сетью (ИКС-80), путём горизонтальных обловов. Обловы ихтиопланктона производились на станциях в течение 10 мин. на циркуляции судна. Пробы сгущались до стандартного объема, помещены в полиэтиленовые банки и зафиксированы раствором формальдегида до конечной концентрации 4%. В лаборатории, куда пробы были доставлены, были проанализированы следующие показатели: численность и видовой состав икры, личинок и молоди рыб (экз./м<sup>3</sup>).

### **Исследование состояния макрозообентоса**

Отбор проб зообентоса (Приложение Д 7. Акт отбора проб макрозообентоса) производился с помощью дночерпателей типа Океан-0,025 (работы на буксире «ПУР») или Океан-0,1 (работы с ИС «Картеш»). На каждой станции отбиралось по 3 пробы. Поднятый дночерпателем грунт промывали через капроновое сито с ячейей 0,5 мм. Оставшихся на сите беспозвоночных с каменистой фракцией грунта и детритом помещали в полиэтиленовые банки и фиксировали 4% раствором формальдегида, нейтрализованным тетраборатом натрия. Положение станций отбора проб совпадает с положением станций отбора донных отложений.

Пробы переданы в лабораторию для дальнейшего анализа, где в пробах зообентоса анализировались следующие показатели: видовой состав; численность и биомасса каждого вида (экз./м<sup>2</sup> и г/м<sup>2</sup>). Составлен перечень основных сообществ.

## **4.2. ДНК-исследования балластных вод**

Отбор проб производился следующим образом: представители заказчика, квалифицированные для обращения с балластными водами, производили отбор проб из балластных танков в переданную им ранее тару, и передали их для дальнейшего анализа. До передачи пробы хранились при температуре +4°C (в холодильнике). После передачи проба была отфильтрована через мембранный фильтр с диаметром пор 0,22 мкм, который был зафиксирован в 96% этаноле для дальнейшего выделения ДНК и анализа путем секвенирования нового поколения.

## **4.3. Контроль обрастания в порту Сабетта**

Согласно Техническому заданию, отбор проб обрастаний портовых сооружений производился на 2 точках внутри акватории порта (по соображениям безопасности пробы обрастаний отбираются подрядчиками Заказчика, обслуживающими портовую инфраструктуру), после чего переданы для анализа. До передачи пробы хранились при температуре +4°C (в холодильнике).

Пробы для исследования состава, видовой структуры и пространственной организации сообщества микроводорослевого обрастания (микрофитоперифитона) на причальных сооружениях в районе п. Сабетта отбирали 26.09.2021, на глубинах от 7 м до 0 м, при помощи специального скребка с площадок размером 0,25\*0,25 м, используя проволоочную рамку со стороной квадрата 25 см. По соображениям безопасности пробы обрастаний отбираются подрядчиками Заказчика, обслуживающими портовую инфраструктуру. Соскобы помещали в темные емкости (ПЭТ) с завинчивающимися крышками объемом 150 мл и заполняли их профильтрованной морской водой, аккуратно смывая этой водой все остатки проб со скребка (Руководство, 1983). Затем транспортировали в стационарную лабораторию ЦМИ МГУ для исследования. До передачи пробы хранились при температуре +4°C (в холодильнике).

Камеральную обработку материала производили в лаборатории. Пробы сгущали осадочным методом до объема 30 мл. Из этого объема, тщательно перемешивая пробу, отбирали 3 аликвоты для подсчета клеток микроводорослей. Учёт микрофитов проводили в счётной



камере Горяева на увеличении 400X, с помощью светового микроскопа Leica DMLS. Расчет биомасс микроводорослей производили по клеточному объему методом геометрического подобия фигур (Hillebrand et al., 1999). Фотодокументирование клеток различных видов проводили с помощью встроенной цифровой камеры, на световом микроскопе Leica DM2500. Объемы клеток вычисляли по линейным размерам клеток, измеренных с помощью программы Leica Application. Для этого использовали серии цифровых изображений каждого вида, включавшие его запечатления с разных сторон. В зависимости от вариабельности размеров клеток того или иного вида, промеры проводили на сериях, включавших от 10–15 до 40–60 фотоснимков. Затем размерности объема клеток переводили в единицы биомассы с учётом их плотности.

Идентификацию таксономической принадлежности микрофитов проводили при увеличении 1000X. Определение видовой принадлежности клеток проводили по современным зарубежным печатным и интерактивным источникам [Krammer, 1982, 1986, 1997a, 1997b, 2002, 2003; Lange-Bertalot, 1999, 2001; Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats, 2000, 2001a, 2001b, 2003, 2009, 2013, 2000-2013]. Уточнение современного таксономического статуса микрофитов проводили согласно интерактивной системе ITIS [Integrated Taxonomic Information System, <http://www.itis.gov/>].

Значения численности и биомассы микрофитобентоса пересчитывали на площадь поверхности субстрата 1 м<sup>2</sup> (тыс. кл/м<sup>2</sup> и мг/м<sup>2</sup>). В качестве меры обилия, учитывающей одновременно показатели численности и биомассы для каждого вида в пробе, также применяли величину потенциальной продуктивности, вычисляемую по формуле  $p_i = n_i^{0.25} * b_i^{0.75}$ , где  $n_i$  – численность i-го вида в пробе, а  $b_i$  – его биомасса (Кучерук, Савилова, 1985). Актуальность применения этой расчётной величины для вычисления соотношений относительных обилий видов в сообществах обусловлена тем, что мелкие виды, как правило, обладают сравнительно небольшой суммарной биомассой, а крупные – при их невысокой численности, но большой общей биомассе – легко нивелируют вклад мелких.



## 5. Результаты работ

### 5.1. Характеристика качества донных отложений

#### 5.1.1. Гранулометрический состав

Гранулометрический состав является важной характеристикой донных отложений, поскольку он отражает существо осадка как геологического тела и его генезис, а также обуславливает основные физические свойства осадков (пористость, объемный вес, вязкость, плотность и др.) и многие гео- и экохимические свойства, в частности, их сорбционные свойства, поведение различных элементов в системе «донные отложения – вода», условия жизнедеятельности донных организмов и характер перемещения частиц при техногенном воздействии. Особенно большое значение эта характеристика приобретает в тех акваториях, где преобладающими являются именно терригенные осадки.

Результаты лабораторных исследований гранулометрического состава донных отложений акватории морского порта Сабетта приведены в Таблице 5.1-1, на гистограмме (Рисунок 5.1.-1.) а также на рис. 5.1.2.

Таблица 5.1—1 –Интерпретация результатов гранулометрического анализа проб донных отложений акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г.

№№ станций	Щебень, дресва, %	Песок, %	Алеврит, %	Пелит, %	Тип осадка
1	0	38,6	51,8	9,6	алеврит песчаный
2	0	16,3	54,3	29,4	алеврит песчано-глинистый
3	0	30,4	51,1	18,5	алеврит глинисто-песчаный
4	0	50,0	49,9	0,1	песок алевритовый
5	0	46,4	53,5	0,1	алеврит песчаный
6	0	31,1	46,2	22,7	алеврит глинисто-песчаный
7	0	17,0	54,6	28,4	алеврит песчано-глинистый
8	0	42,0	58,0	0,0	алеврит песчаный
9	0	17,0	60,5	22,5	алеврит песчано-глинистый
10	0	49,9	50,1	0,0	алеврит песчаный
11	0	45,5	54,4	0,1	алеврит песчаный
12	0	12,9	51,6	35,5	алеврит глинистый
13	0	15,3	51,4	33,3	алеврит песчано-глинистый
14	0	34,0	49,3	16,7	алеврит глинисто-песчаный
15	0	32,5	48,5	19,0	алеврит глинисто-песчаный
16	0	48,0	32,0	20,0	песок глинисто-алевритовый
17	0	15,8	57,1	27,1	алеврит песчано-глинистый
18	0	46,9	53,1	0,0	алеврит песчаный
19	0	31,2	54,2	14,6	алеврит песчаный
20	0	16,3	59,0	24,7	алеврит песчано-глинистый
Преобладающая фракция					

Второстепенная фракция



Рис. 5.1 - 1.

Гистограммы гранулометрического состава донных отложений акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г (размер частиц в мм).

Поверхностные осадки в районе исследования представлены различными типами алевритов: песчаными (ст.1, 5, 8, 10, 11, 18, 19), песчано-глинистыми (ст.2, 7, 9, 13, 17, 20), глинисто-песчаными (ст.3, 6, 14, 15); а также песками – алевритовым (ст.4) (Рисунок 5.1.-2) и глинисто-алеваитовым (ст.16). Грубообломочный материал отсутствует на всех станциях пробоотбора. Полученные данные согласуются с фоновыми.

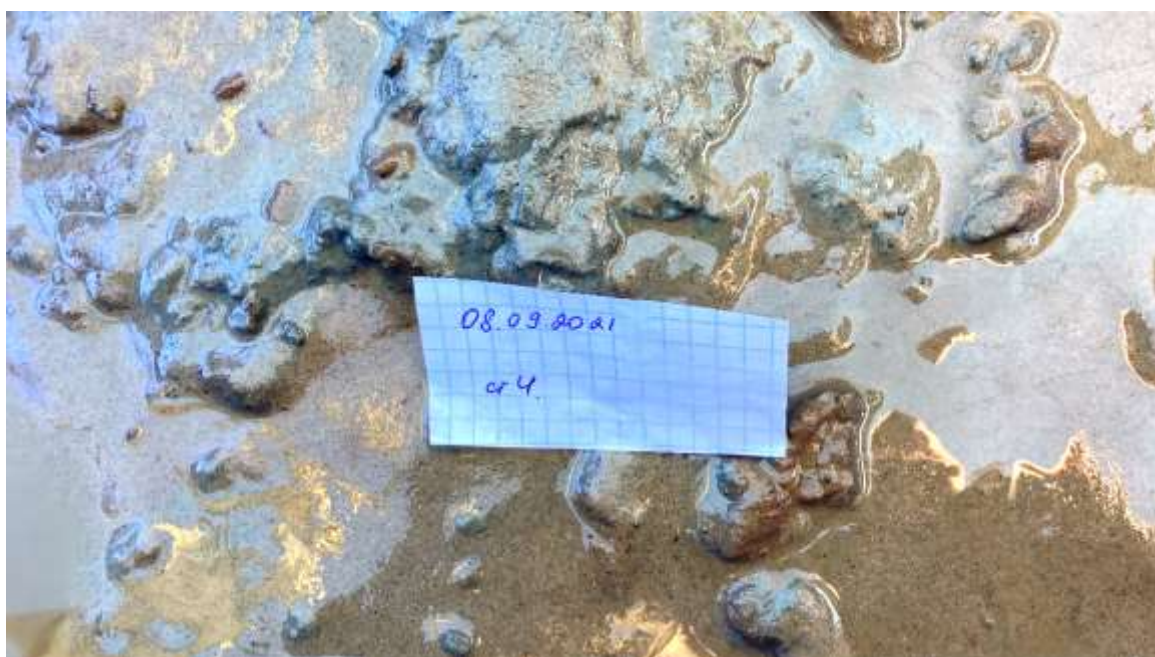


Рис. 5.1 - 2.

Фотография алеврита песчаного, отобранного в районе работ

Содержание **органического углерода** изменялось от <0,29 до 3,81%, составляя в среднем 1,3%. Полученные данные согласуются с фондовыми. **Влажность** грунтов составила 42,2-55% (в среднем 49,54%). **Плотность грунта** составила 1,61-1,89 г/см<sup>3</sup> (в среднем 1,75 г/см<sup>3</sup>); максимальное значение характерно для алеврита глинистого. **Плотность сухого грунта** изменялась от 1,05 до 1,30 г/см<sup>3</sup>, составляя в среднем 1,17 г/см<sup>3</sup> (Таблица 1.5-6).

Таблица 5.1—2 Физико-химическая характеристика донных отложений акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г.

№№ станций	Органический углерод, %	Влажность (в т. ч. гигроскопическая), %	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта (скелета), г/см <sup>3</sup>
1	1,13	51,50	1,74	1,15
2	1,13	47,8	1,86	1,26
3	2,28	50,60	1,83	1,22
4	<0,29	52,20	1,62	1,06
5	0,38	53,00	1,61	1,05
6	0,91	49,3	1,84	1,23
7	2,72	45,8	1,87	1,28
8	<0,29	42,2	1,63	1,15
9	2,83	54,80	1,79	1,16
10	0,29	48,2	1,61	1,09
11	0,37	53,10	1,61	1,05
12	3,81	46,0	1,89	1,29
13	2,71	50,90	1,88	1,25
14	0,96	55,00	1,72	1,11
15	0,68	53,00	1,74	1,14
16	1,12	42,9	1,74	1,22
17	1,80	44,3	1,87	1,30
18	0,31	52,60	1,62	1,06
19	0,82	54,60	1,75	1,13
20	1,18	43,0	1,85	1,29
Минимальное значение	<0,29	42,2	1,61	1,05
Максимальное значение	3,81	55,0	1,89	1,30
Среднее значение	1,30	49,54	1,75	1,17

## 5.1.2. Содержание загрязняющих веществ

### Органические загрязнители

Концентрации нефтепродуктов и бенз(а)пирена не достигали нижних пределов диапазонов измерений используемый методик (<0,005 мг/г и <0,0000012 г/кг соответственно) (Приложение Ж. Протокол лабораторных измерений образцов донных отложений). Полученные данные согласуются с фондовыми.

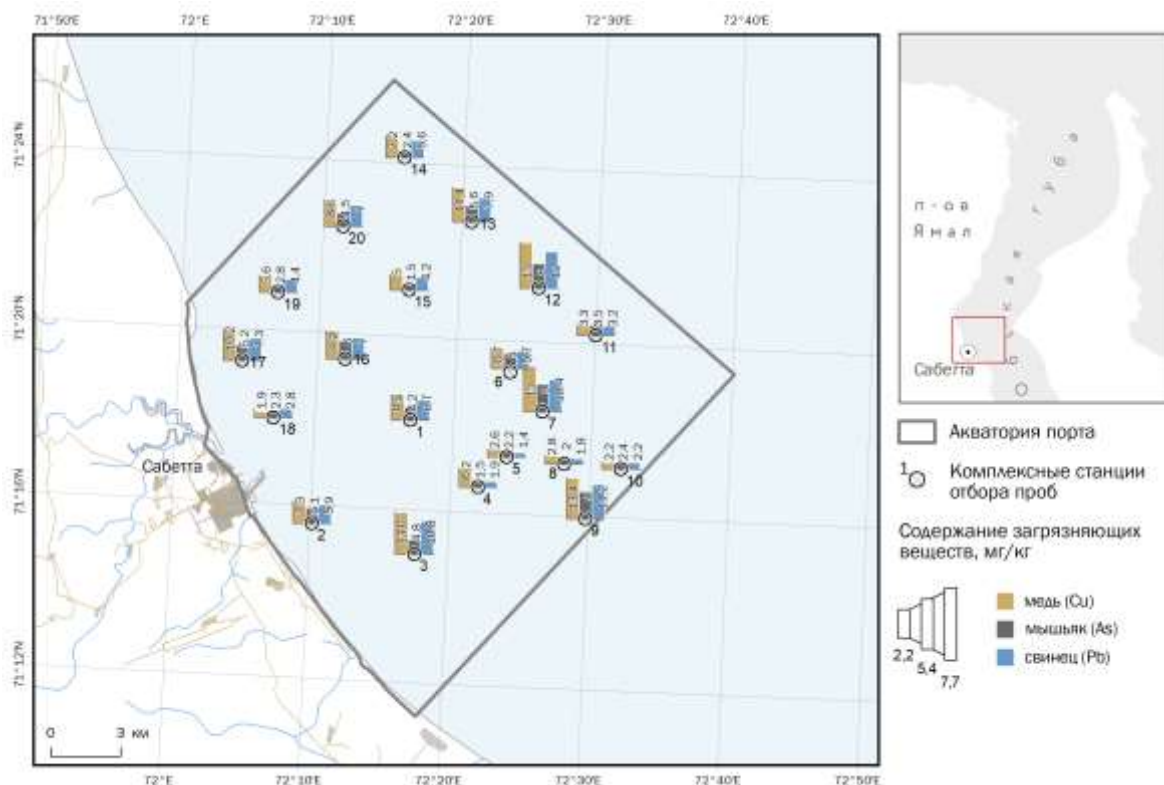
### Неорганические загрязнители

Результаты лабораторных исследований по содержанию химических элементов в донных отложениях акватории морского порта Сабетта представлены в Таблице 5.1-3.

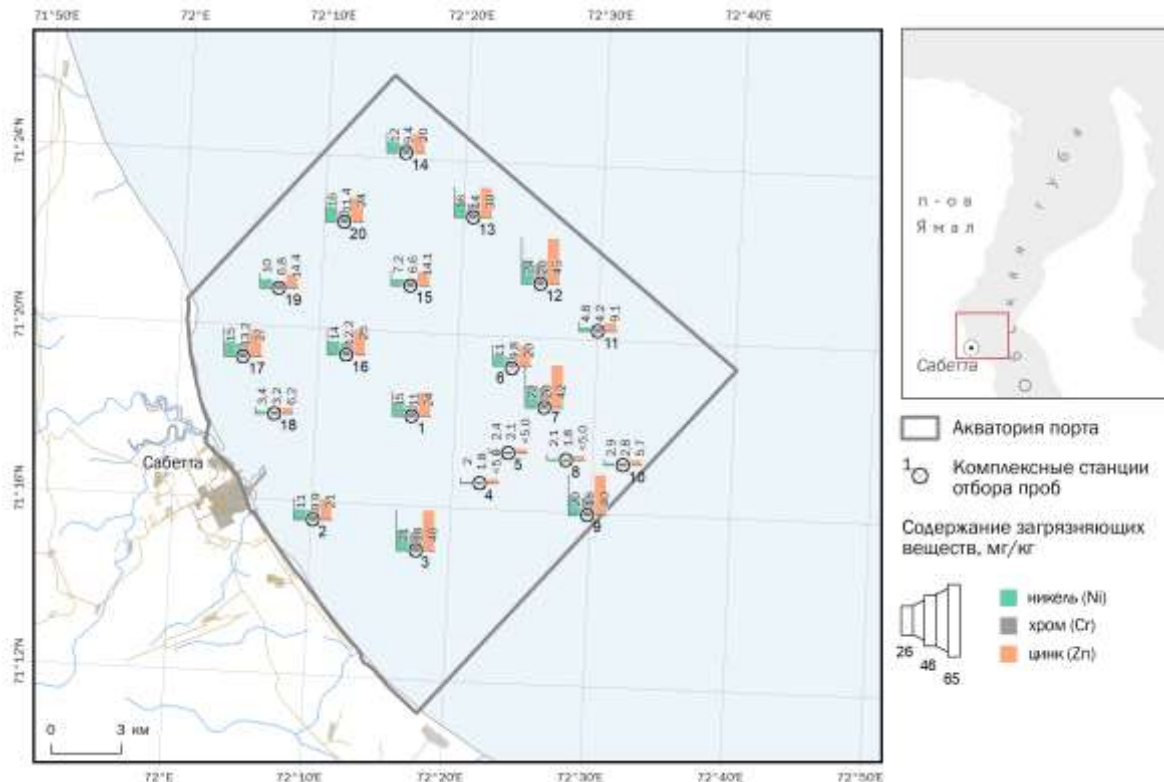
Таблица 5.1—3 –Концентрации тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г. (по результатам лабораторных исследований)

№№ станций	Концентрации исследуемых элементов, мг/кг							
	Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Cr	Zn
1	0,15	8,4	4,2	15	0,015	6,7	11,0	24
2	0,08	7,3	5,1	11	0,016	5,9	9,9	21
3	0,18	13,6	4,8	21	0,031	10,8	18	40
4	<0,05	6,2	1,5	2,0	<0,005	1,9	1,8	<5,0
5	<0,05	2,6	2,2	2,4	<0,005	1,4	2,1	<5,0
6	0,08	6,7	5,0	11	0,017	5,7	9,8	20
7	0,12	15	9	22	0,028	10,4	20	42
8	<0,05	2,8	2,0	2,1	0,0052	1,8	1,8	<5,0
9	0,18	13,4	9	20	0,031	11,2	18	40
10	<0,05	2,2	2,4	2,9	0,0054	2,2	2,8	5,7
11	<0,05	3,3	3,5	4,8	0,009	3,2	4,2	9,1
12	0,15	15	8	24	0,037	12	20	45
13	0,10	11,4	5,6	16	0,025	7,9	14,0	30
14	0,08	7,2	2,4	12	0,014	5,6	9,4	20
15	<0,05	5,0	1,5	7,2	0,017	4,2	6,6	14,1
16	0,12	9,2	6	14	0,040	7,0	12,2	25
17	0,12	10,2	5,2	15	0,021	7,3	13,2	27
18	<0,05	1,9	2,3	3,4	0,0054	2,8	3,2	6,2
19	0,050	5,6	2,8	10	0,010	4,4	6,8	14,4
20	0,10	8,6	4,5	16	0,017	7,0	11,4	24
Минимальная концентрация	<0,05	1,9	1,5	2,0	<0,005	1,4	1,8	<5,0
Максимальная концентрация	0,18	15,0	9,0	24	0,040	12,0	20,0	45
Средняя концентрация	0,09	7,78	4,35	11,59	0,018	5,97	9,81	21,13

Концентрации элементов в донных отложениях по результатам лабораторных исследований изменялись в следующих пределах: **кадмий** - от <0,05 до 0,18 мг/кг; составляя в среднем 0,09 мг/кг; **медь** – от 1,9 до 15 мг/кг, составляя в среднем 7,78 мг/кг; **мышьяк** – от 1,5 до 9,0 мг/кг, составляя в среднем 4,35 мг/кг; **никель** - от 2,0 до 24 мг/кг, составляя в среднем 11,59 мг/кг; **ртуть** – от <0,005 до 0,040 мг/кг, составляя в среднем 0,018 мг/кг; **свинец** – 1,4 до 12 мг/кг, составляя в среднем 5,97 мг/кг; **хром** – от 1,8 до 20 мг/кг, составляя в среднем 9,81 мг/кг; **цинк** – от <5 до 45 мг/кг, составляя в среднем 21,13 мг/кг.

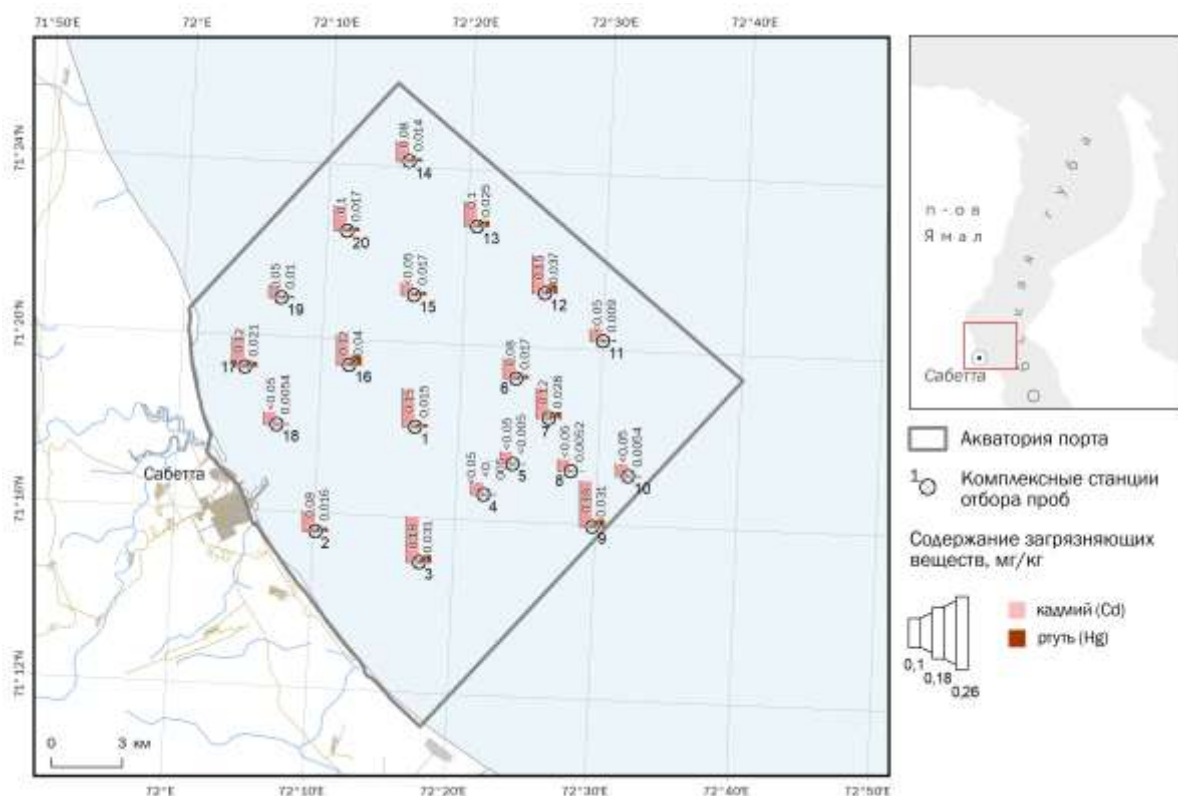


**Рис. 5.1 - 3.** Картограмма распределения концентраций меди, мышьяка и свинца в акватории порта Сабетта в 2021 году.



**Рис. 5.1 - 4.** Картограмма распределения концентраций никеля, хрома и цинка в акватории порта Сабетта в 2021 году.





**Рис. 5.1 - 5.** Картограмма распределения концентраций кадмия и ртути в акватории порта Сабетта в 2021 году.

Минимальные концентрации большинства элементов характерны для грунтов станции 4, максимальные – для грунтов станции 12, что может быть связано с содержанием органического вещества (ст.4 -  $<0,29\%$ ; ст.12 –  $3,81\%$ ) и особенностями гранулометрического состава поверхностного слоя донных отложений (ст.4 – песок алевритовый, содержание пелитовой фракции  $0,1\%$ ; ст.12 – алеврит глинистый с максимальным для участка исследований содержанием пелитовой фракции –  $35,5\%$ ).

По сравнению с результатами исследований 2019 г. увеличились концентрации кадмия; уменьшились концентрации никеля, свинца, хрома и цинка; содержание мышьяка, меди и ртути соответствует фоновым данным.

#### **Оценка степени загрязнения донных отложений**

Для оценки степени загрязнения донных отложений были использованы зарубежный нормативный документ «Голландские листы» (Warmer, van Dokkum, 2002) и региональный норматив «Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга» (Нормы и критерии..., 1996).

Результаты сравнения полученных лабораторных данных, пересчитанных на стандартный образец, с «целевым уровнем» (ЦУ) и «уровнем вмешательства» (УВ) представлены в Таблице 5.1-4

Таблица 5.1—4 –Содержание загрязнителей в донных отложениях акватории морского порта Сабетта, сентябрь 2021 г. (в пересчете на стандартный образец)

№№ станций	Загрязнитель в пересчете на стандарт, мг/кг								
	Cd	Cu	As	Ni	Hg	Pb	Cr	Zn	Нефтепродукты



1	0,23	13,77	6,20	26,79	0,019	9,25	15,90	41,08	<25
2	0,10	7,77	5,37	9,77	0,016	6,16	9,10	20,82	<25
3	0,24	17,82	5,97	25,79	0,035	12,97	20,69	51,41	<21,9
4	<0,09	14,65	2,75	6,93	<0,007	3,10	3,59	<13,1	<25
5	<0,09	5,76	4,03	8,32	<0,007	2,28	4,18	<13,1	<25
6	0,10	8,09	5,83	11,77	0,018	6,49	10,27	23,12	<25
7	0,14	16,04	9,51	20,05	0,028	10,90	18,73	42,22	<18,4
8	<0,09	6,22	3,67	7,35	0,008	2,94	3,60	<13,2	<25
9	0,23	15,97	10,39	21,54	0,033	12,64	18,95	46,00	<17,7
10	<0,09	4,89	4,41	10,15	0,008	3,60	5,60	15,06	<25
11	<0,09	7,31	6,41	16,63	0,013	5,22	8,37	23,90	<25
12	0,16	13,99	7,55	18,46	0,034	11,42	16,53	38,84	<13,1
13	0,11	11,21	5,52	12,93	0,024	7,81	12,01	27,28	<18,5
14	0,11	9,89	3,10	15,73	0,016	6,93	11,27	27,16	<25
15	<0,07	6,52	1,86	8,69	0,019	5,03	7,50	17,95	<25
16	0,16	11,74	7,31	16,33	0,045	8,26	13,56	30,97	<25
17	0,15	11,31	5,66	14,15	0,021	7,84	12,67	28,15	<25
18	<0,09	4,22	4,22	11,90	0,008	4,58	6,40	16,38	<25
19	0,07	8,08	3,75	14,23	0,012	5,62	8,59	20,83	<25
20	0,13	9,98	5,08	16,14	0,018	7,76	11,47	26,44	<25
Целевой уровень (ЦУ)	0,8	36	29	35	0,3	85	100	140	50
Уровень вмешательства (УВ)	12	190	55	210	10	530	380	720	5000
	превышение ЦУ								
	превышение ЦУ и УВ								

По результатам пересчетов полученных концентраций тяжелых металлов, мышьяка и нефтепродуктов на стандартный образец в соответствии с нормативными документами превышения не зафиксированы.

Поверхностные осадки в районе исследования преимущественно представлены различными типами алевритов: песчаными, песчано-глинистыми, глинисто-песчаными. Также встречаются пески – алевритовые и глинисто-алевритовые. Грубообломочный материал отсутствует на всех станциях пробоотбора.

Содержание органического углерода составило в среднем 1,3%. Полученные данные согласуются с фоновыми. Влажность грунтов составила 42,2–55% (в среднем 49,54%). Плотность грунта составила 1,61–1,89 г/см<sup>3</sup> (в среднем 1,75 г/см<sup>3</sup>). Плотность сухого грунта изменялась от 1,05 до 1,30 г/см<sup>3</sup>, составляя в среднем 1,17 г/см<sup>3</sup>.

Концентрации нефтепродуктов и бенз(а)пирена не достигали нижних пределов диапазонов измерений используемый методик (<0,005 мг/г и <0,0000012 г/кг соответственно). Концентрации элементов в донных отложениях по результатам лабораторных исследований составили в среднем: кадмий - 0,09 мг/кг; медь – 7,78 мг/кг; мышьяк – 4,35 мг/кг; никель - 11,59 мг/кг; ртуть – 0,018 мг/кг; свинец – 5,97 мг/кг; хром – 9,81 мг/кг; цинк – 21,13 мг/кг.

По результатам пересчетов полученных концентраций тяжелых металлов, мышьяка и нефтепродуктов на стандартный образец в соответствии с нормативными документами (Warner, van Dokkum, 2002; Нормы и критерии..., 1996) превышения не зафиксированы.

## 5.2. Гидробиологическая характеристика акватории;

### 5.2.1. Фитопланктон

Основным компонентом морских экосистем, определяющим их структуру и биологическую продуктивность, является фитопланктон – главный продуцент органического вещества. Обладая высокой скоростью размножения и, вследствие этого, быстрой реакцией на изменения внешних условий, планктонные водоросли очень удобны в биоиндикационных исследованиях качества водной среды.

**Общий таксономический состав и эколого-географическая характеристики ФП.** В результате исследований, проведенных в сентябре 2021 г. в акватории порта Сабетта, был идентифицирован 141 видовой и внутривидовой таксон ФП из 9 отделов: *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanobacteria*, *Miozoa (Dinophyceae)*, *Ochrophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta*, *Haptophyta* и *Charophyta* (рис. 5.2-1). Флористический комплекс планктонной альгофлоры составляли диатомовые и зеленые водоросли, содержащие 69 (48,9 %) и 23 (16,3 %) видовых таксонов соответственно.

Представители отдела *Bacillariophyta* относились к 40 родам, из которых самыми богатыми по числу видов были роды *Aulacoseira* (6 видовых таксонов), *Navicula* (5) и *Nitzschia* (6). Встреченные микроводоросли из отдела *Chlorophyta* относились к 17 родам, содержащим по 1–2 вида, за исключением рода *Desmodesmus*, который был представлен 3 видами.

Среди цианобактерий было обнаружено 14 видовых таксонов (9,9 % от общего количества видов) из 10 родов. Наиболее богатым был род *Aphanocapsa*, содержащий 4 видовых таксона.

Динофитовые водоросли были представлены 13 видами, охрофитовые – 12, эвгленовые – 5, криптофитовые – 4, гаптофитовые – 2 и харофитовые – 1 видом.

Таким образом, планктонная альгофлора исследуемой акватории характеризовалась как диатомово-хлорофитовая с присутствием цианобактерий.

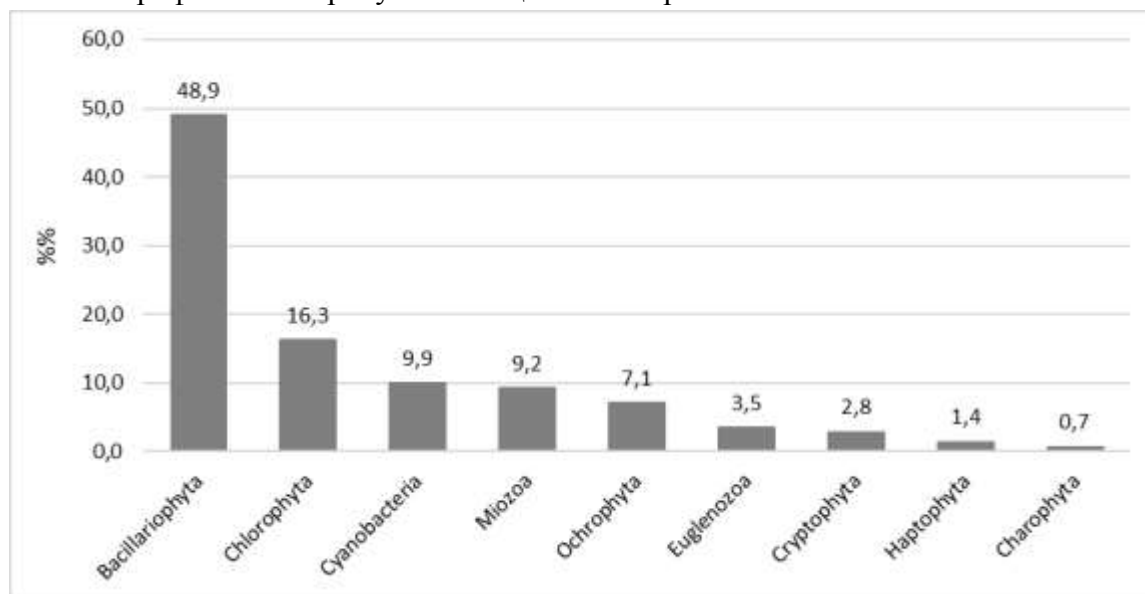


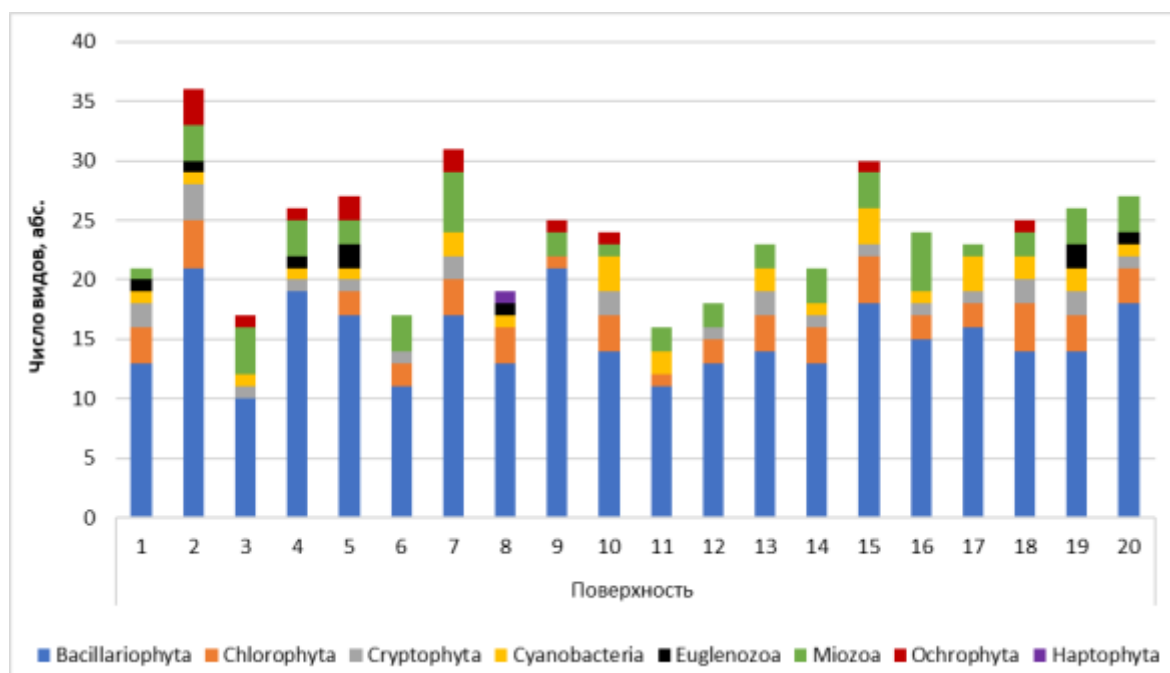
Рис. 5.2 - 1. Таксономический состав фитопланктона, %

Согласно фитогеографической и экологической характеристикам, большинство идентифицированных микроводорослей являлись космополитами – 79,7 %. Виды арктического

происхождения составляли 11,6 % планктонной альгофлоры, на долю бореальных видов приходилось 5,8 %, аркто-бореальных и атлантических видов – по 1,4 %. Среди всех зарегистрированных водорослей 50,4 % являлись пресноводными. На долю морских видов приходилось 21,3 %, солоноватоводных – 28,4 %.

### Поверхностный горизонт

**Таксономический состав.** В поверхностном горизонте исследованной акватории встречаются микроводоросли из 8 отделов: *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanobacteria*, *Miozoa* (*Dinophyceae*), *Ochrophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta* и *Haptophyta*. В зависимости от станции число видовых таксонов ФП колебалось от 16 (ст. 11) до 36 (ст. 2) (в среднем 23,8 на станцию) (рис. 5.2–2).



**Рис. 5.2 - 2.**

Вклад таксономических групп в видовое богатство ФП в поверхностном горизонте, абс.

Наибольшее число видов поверхностного горизонта на всех станциях исследования принадлежало отделу *Bacillariophyta* – от 10 на ст. 3 до 21 на ст. 2 и 9.

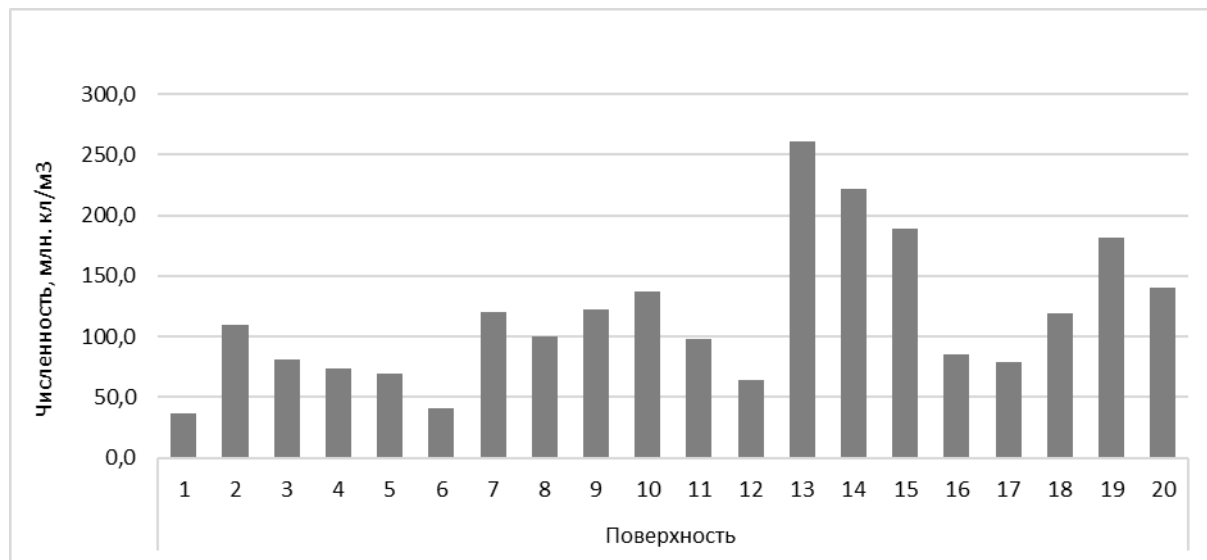
Представители отдела *Chlorophyta* были представлены в зависимости от станции 1–4 видовыми таксонами, за исключением стт. 2 и 3, на которых встречены не были.

Динофитовые водоросли отмечались везде, кроме ст. 8 и были представлены 1–5 видами. Цианобактерии отсутствовали на стт. 6, 9 и 12, а на остальных станциях были представлены 1–3 видами. Кристофитовые водоросли не обнаружены на стт. 8, 9 и 11, охрофитовые и эвгленовые водоросли не выявлены на большинстве станций (рис. 5.2–2). Отдел *Haptophyta* отмечался только на ст. 8 и был представлен водорослью *Emiliania huxleyi* (Lohmann) Hay & Mohler.

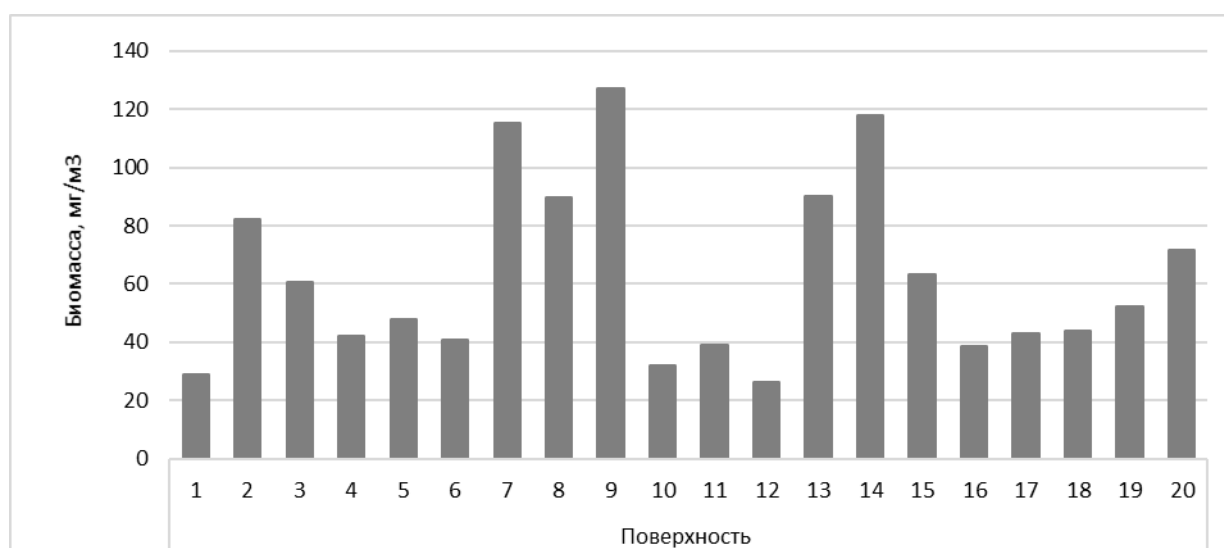
**Количественные показатели фитопланктона, их пространственное распределение.** Количественный анализ ФП поверхностного горизонта показал, что общая численность ФП на

разных станциях изменялась от 36,50 млн кл./м<sup>3</sup> на ст. 1 до 260,60 млн кл./м<sup>3</sup> на ст. 13 (в среднем 116,44 млн кл./м<sup>3</sup>) (рис. 5.2-3).

Общая биомасса ФП исследованной акватории варьировала по станциям от 26,13 мг/м<sup>3</sup> на ст. 12 до 127,26 мг/м<sup>3</sup> на ст. 9, составляя в среднем 62,62 мг/м<sup>3</sup> (рис 5.2–4).



**Рис. 5.2 - 3.** Численность фитопланктона на разных станциях поверхностного горизонта



**Рис. 5.2 - 4.** Биомасса фитопланктона на разных станциях поверхностного горизонта

Основной вклад в количественные показатели планктонной альгофлоры вносил отдел *Bacillariophyta*, на представителей которого приходилось 43,4–96,7 % от общей численности и 92,1–99,7 % от общей биомассы микроводорослей (рис 5.2–5).

На половине станций в общей численности ощутимую роль играли цианобактерии, доля которых достигала 50,0 % на ст. 19. Зеленые водоросли в общей численности в том или ином количестве присутствовали на всех станциях (кроме стт. 3 и 4), достигая своего максимума на ст. 18–12,3 %.

Вклад остальных отделов в количественный состав фитопланктонных сообществ на каждой станции был минимален (рис 5.2–5).

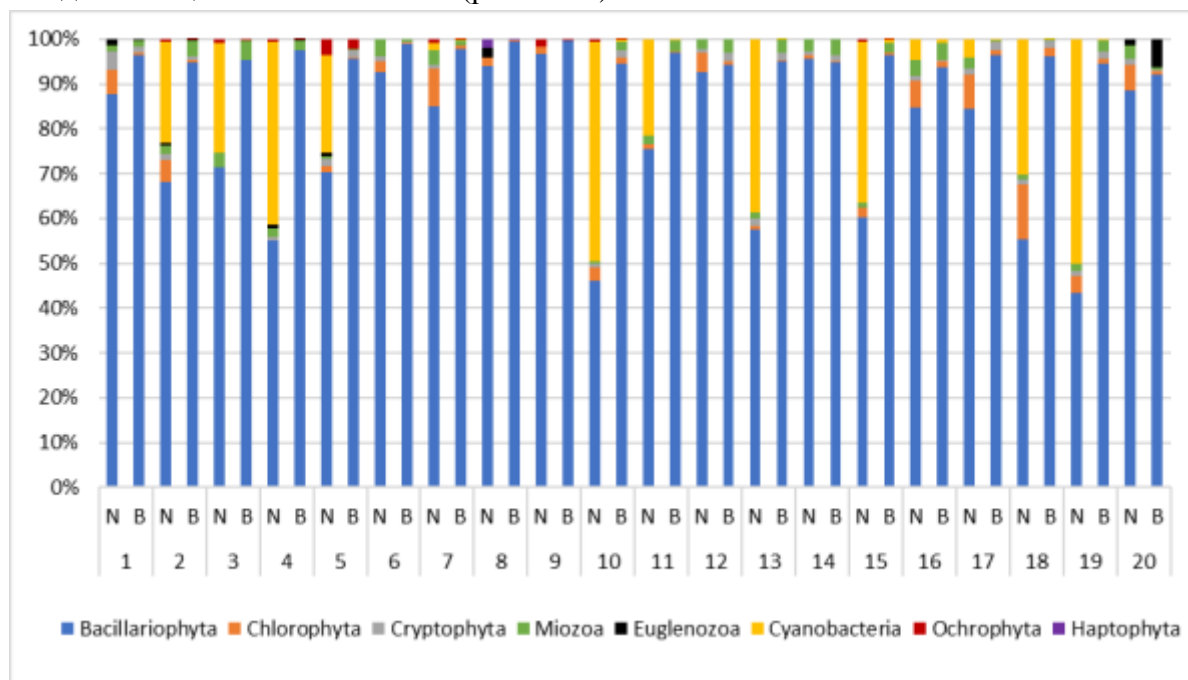


Рис. 5.2 - 5.

Вклад таксономических групп в численность (N) и биомассу (B) ФП в поверхностном горизонте на разных станциях

На всех исследованных станциях поверхностного горизонта без исключения доминантом по количественным характеристикам выступала диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, на долю которой приходилось в зависимости от станции 26,7–69,1 % в общей численности и 33,3–82,9 % в общей биомассе (Таблица 5.2–1).

Среди видов, вносящих заметный вклад в количественные показатели, на большинстве станций отмечались центрические диатомеи из рода *Cyclotella*. На ст. 12 в общей численности была заметна роль *Stephanodiscus pusillus* (Grunow) Willi Krieger. Вклад в общую численность цианобактерии *Aphanocapsa delicatissima* West & G.S. West варьировал от станции к станции и достигал 49,5 % (ст. 19) (Таблица 5.2-1). В биомассе среди доминант отмечались только центрические диатомеи. Помимо *Aulacoseira granulata* и *Cyclotella* sp. ощутимый вклад в биомассу вносили такие водоросли, как *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen, *Cyclostephanos dubius* (Hustedt) Round и *Stephanodiscus hantzschii* Grunow in Cleve & Grunow.

Таблица 5.2—1 –Виды-доминанты по количественным показателям в поверхностном горизонте

№ станции	Виды-доминанты по численности		Виды-доминанты по биомассе	
	Таксон	% от общей численности	Таксон	% от общей биомассы
1	<i>Aulacoseira granulata</i>	49,3	<i>Aulacoseira granulata</i>	75,7
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	19,2	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,2
2	<i>Aulacoseira granulata</i>	43,8	<i>Aulacoseira granulata</i>	70,6
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,4		
3	<i>Aulacoseira granulata</i>	45,9	<i>Aulacoseira granulata</i>	74,5
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	24,6		
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,9		
4	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	40,8	<i>Aulacoseira granulata</i>	62,9

№ станции	Виды-доминанты по численности		Виды-доминанты по биомассе	
	Таксон	% от общей численности	Таксон	% от общей биомассы
	<i>Aulacoseira granulata</i>	29,9	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,1
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,6		
5	<i>Aulacoseira granulata</i>	31,2	<i>Aulacoseira granulata</i>	54,0
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	21,7	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,0
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	18,1		
6	<i>Aulacoseira granulata</i>	69,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	82,9
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,1		
7	<i>Aulacoseira granulata</i>	58,3	<i>Aulacoseira granulata</i>	73,3
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,7		
8	<i>Aulacoseira granulata</i>	56,0	<i>Aulacoseira granulata</i>	75,3
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,0		
9	<i>Aulacoseira granulata</i>	54,9	<i>Aulacoseira granulata</i>	63,5
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	15,6		
10	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	48,5	<i>Aulacoseira granulata</i>	51,7
	<i>Aulacoseira granulata</i>	26,7	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,5
11	<i>Aulacoseira granulata</i>	59,2	<i>Aulacoseira granulata</i>	66,6
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	20,4	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	12,2
12	<i>Aulacoseira granulata</i>	57,3	<i>Aulacoseira granulata</i>	63,2
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,4	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,8
	<i>Stephanodiscus pusillus</i>	10,4		
13	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	38,4	<i>Aulacoseira granulata</i>	38,0
	<i>Aulacoseira granulata</i>	29,2	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,3
			<i>Cyclostephanos dubius</i>	10,3
14	<i>Aulacoseira granulata</i>	63,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	54,3
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,7	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,2
15	<i>Aulacoseira granulata</i>	33,9	<i>Aulacoseira granulata</i>	45,4
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	31,7	<i>Cyclotella</i> sp. 1	22,1
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	14,8		
16	<i>Aulacoseira granulata</i>	47,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	46,7
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,8	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,0
			<i>Cyclostephanos dubius</i>	12,0
17	<i>Aulacoseira granulata</i>	44,2	<i>Aulacoseira granulata</i>	36,8
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,4	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,5
	<i>Aulacoseira ambigua</i>	10,1		
18	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	27,9	<i>Aulacoseira islandica</i>	37,4
	<i>Aulacoseira granulata</i>	27,4	<i>Aulacoseira granulata</i>	33,3
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,2	<i>Cyclotella</i> sp. 1	15,1
19	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	49,5	<i>Aulacoseira granulata</i>	43,2
	<i>Aulacoseira granulata</i>	27,5	<i>Cyclotella</i> sp. 1	14,4
			<i>Aulacoseira islandica</i>	12,7
20	<i>Aulacoseira granulata</i>	52,9	<i>Aulacoseira granulata</i>	46,4
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,4	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,2
			<i>Cyclotella</i> sp. 2	10,0

### Промежуточный горизонт

**Таксономический состав.** В промежуточном горизонте исследованной акватории обнаружены микроводоросли из 8 отделов: *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanobacteria*, *Miozoa* (*Dinophyceae*), *Ochrophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta* и *Haptophyta*. В зависимости от станции число видовых таксонов ФП колебалось от 13 (ст. 1) до 32 (ст. 4) (в среднем 22,5 на станцию) (рис. 5.2–6).



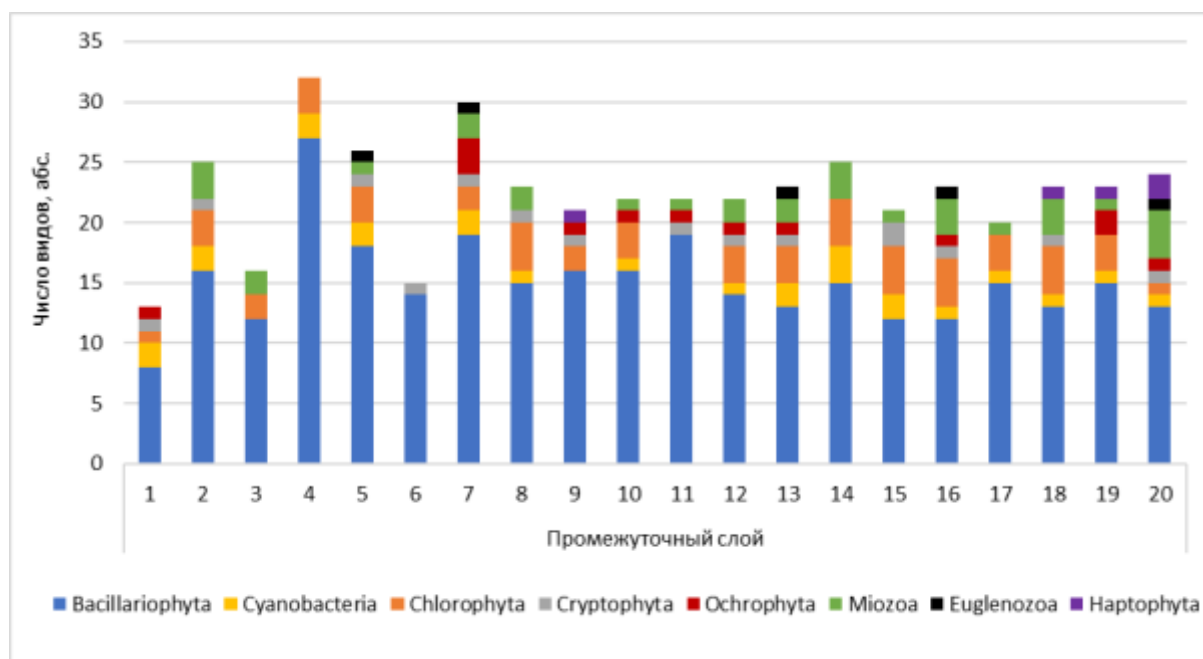


Рис. 5.2 - 6.

Вклад таксономических групп в видовое богатство ФП в промежуточном горизонте, абс.

Максимальный вклад в видовое богатство планктонной альгофлоры на всех станциях исследования вносил отдел *Bacillariophyta*, включающий от 8 видовых таксонов на ст. 1 до 27 на ст. 4.

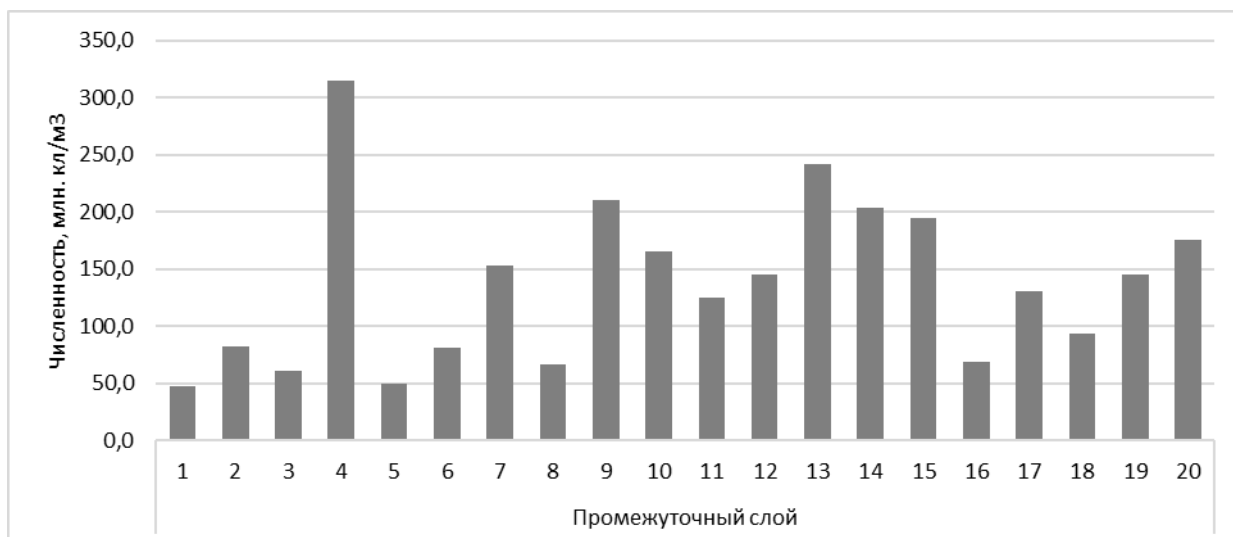
Представители отдела *Chlorophyta* были представлены в зависимости от станции 1–4 видовыми таксонами, за исключением стт. 6 и 11, на которых встречены не были.

Цианобактерии и динофитовые водоросли присутствовали на большинстве станций и были представлены 1–4 видами. Крестоцветные водоросли не обнаруживались на трети станций, а охрофитовые – на половине станций. Эвгленовые и гаптофитовые водоросли не выявлены на большинстве станций (рис 5.2–6).). Эвгленовые водоросли были представлены только одним видом – *Trachelomonas* sp., а гаптофитовые двумя – *Emiliania huxleyi* и *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller.

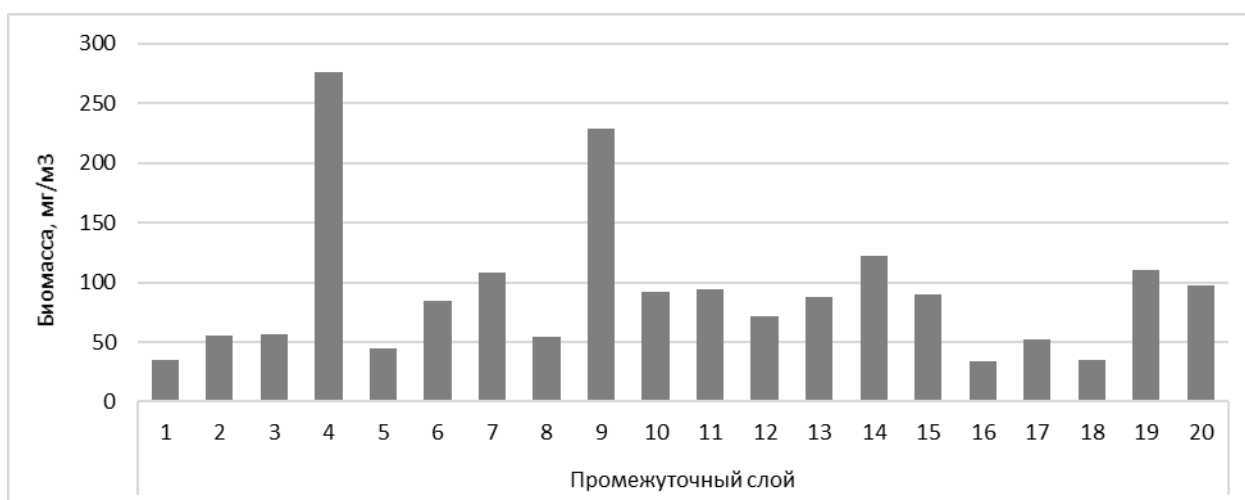
#### **Количественные показатели фитопланктона, их пространственное распределение.**

Количественный анализ ФП промежуточного горизонта показал, что общая численность ФП на разных станциях изменялась от 47,50 млн кл. /м<sup>3</sup> на ст. 1 до 315,00 млн. кл./м<sup>3</sup> на ст. 4 (в среднем 137,83 млн. кл./м<sup>3</sup>) (рис 5.2–7).).

Общая биомасса ФП исследованной акватории варьировала по станциям от 34,40 мг/м<sup>3</sup> на ст. 12 до 275,89 мг/м<sup>3</sup> на ст. 4, составляя в среднем 91,35 мг/м<sup>3</sup> (рис 5.2–8).).



**Рис. 5.2 - 7.** Численность фитопланктона на разных станциях промежуточного горизонта



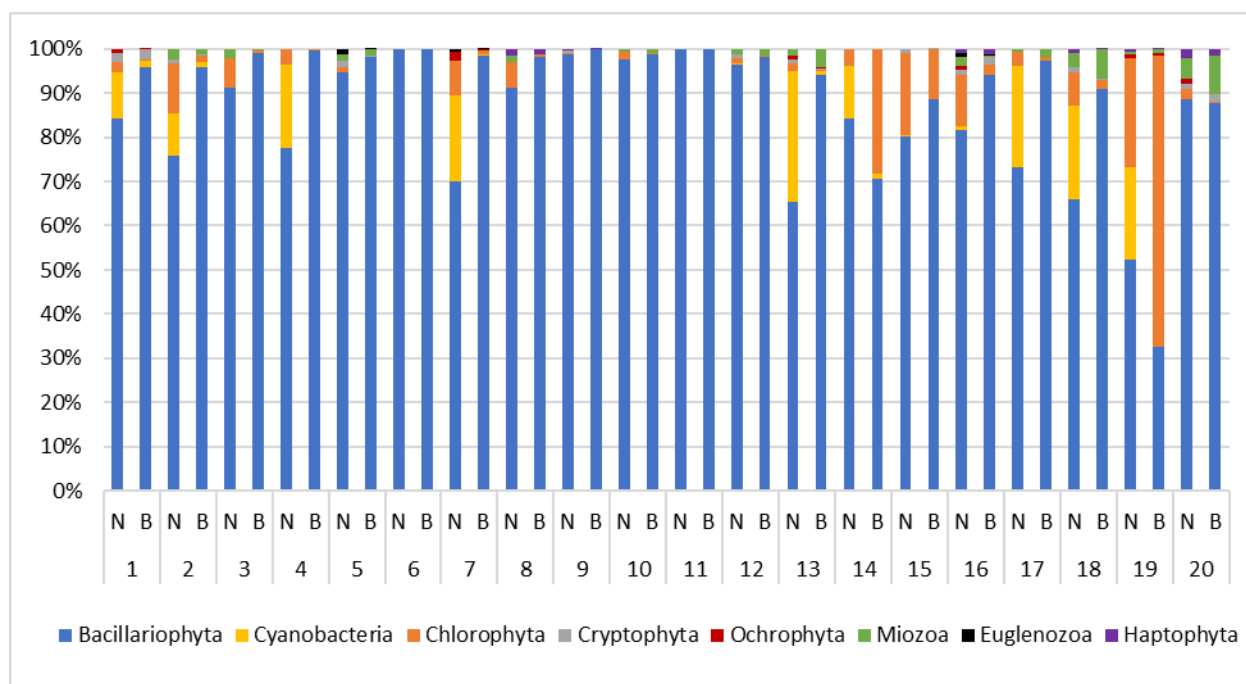
**Рис. 5.2 - 8.** Биомасса фитопланктона на разных станциях промежуточного горизонта

Основной вклад в количественные показатели планктонной альгофлоры исследованной акватории вносил отдел *Bacillariophyta*, на представителей которого приходилось 52,4–100,0 % от общей численности и 32,7–100,0 % от общей биомассы микроводорослей (рис 5.2–9).

Представители отдела *Chlorophyta* на некоторых станциях вносили ощутимый вклад, достигая 24,8 % в общей численности и 65,8 % в биомассе (на ст. 19).

На части станций в общей численности заметную роль играли цианобактерии, доля которых достигала 29,8 % на ст.13.

Вклад остальных отделов в количественный состав фитопланктонных сообществ на каждой станции был минимален (рис 5.2–9).



**Рис. 5.2 - 9.** Вклад таксономических групп в численность (N) и биомассу (B) ФП в промежуточном горизонте на разных станциях

Также, как и в поверхностном горизонте, в промежуточном слое на всех исследованных станциях доминантом по количественным характеристикам выступала диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata*, на долю которой приходилось в зависимости от станции 29,0–77,6 % в общей численности и 17,1–86,1 % в общей биомассе (Таблица 5.2-2).

Среди видов, вносящих заметный вклад в количественные показатели на многих станциях, отмечались диатомеи из рода *Cyclotella*. Также в доминантах по численности на некоторых станциях отмечены диатомеи *Asterionella formosa* Hassall (ст. 8) и *Stephanodiscus pusillus* (ст. 16), цианобактерии *Aphanocapsa delicatissima* (стт. 4, 13, 17–19) и *Coelosphaerium kuetzingianum* Nägeli (ст. 7), зеленые водоросли *Monactinus simplex* (Meyen) Corda (ст. 19) и *Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) Hegewald (ст. 15).

В биомассу помимо *Aulacoseira granulata* и *Cyclotella* sp. ощутимый вклад вносили *Asterionella formosa* (стт. 8, 13), *Aulacoseira islandica* (ст. 10) и *Cyclostephanos dubius* (ст. 16). На ст. 11 почти до 30 % в биомассе приходилось на диатомею *Entomoneis paludosa* (Smith) Reimer, а на ст. 14 – на зеленую водоросль *Halosphaera viridis* Schmitz. Также среди доминант по биомассе из зеленых водорослей отмечались *Monactinus simplex* (ст. 19) и *Pseudopediastrum boryanum* (ст. 15).

**Таблица 5.2—2** -Виды-доминанты по количественным показателям в промежуточном горизонте

№ станции	Виды-доминанты по численности		Виды-доминанты по биомассе	
	Таксон	% от общей численности	Таксон	% от общей биомассы
1	<i>Aulacoseira granulata</i>	42,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	70,2
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	20,0	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,8
2	<i>Aulacoseira granulata</i>	37,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	66,5
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	16,9	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,6
3	<i>Aulacoseira granulata</i>	54,3	<i>Aulacoseira granulata</i>	71,9

№ станции	Виды-доминанты по численности		Виды-доминанты по биомассе	
	Таксон	% от общей численности	Таксон	% от общей биомассы
4	<i>Cyclotella</i> sp. 1	19,6	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,7
	<i>Aulacoseira granulata</i>	38,7	<i>Aulacoseira granulata</i>	53,4
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,7		
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	12,7		
5	<i>Aulacoseira granulata</i>	48,6	<i>Aulacoseira granulata</i>	65,7
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	16,2		
6	<i>Aulacoseira granulata</i>	70,4	<i>Aulacoseira granulata</i>	81,9
7	<i>Aulacoseira granulata</i>	42,5	<i>Aulacoseira granulata</i>	72,5
	<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i>	19,6		
8	<i>Aulacoseira granulata</i>	40,3	<i>Aulacoseira granulata</i>	59,9
	<i>Asterionella formosa</i>	13,4	<i>Asterionella formosa</i>	12,4
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,4		
9	<i>Aulacoseira granulata</i>	77,6	<i>Aulacoseira granulata</i>	86,1
10	<i>Aulacoseira granulata</i>	63,6	<i>Aulacoseira granulata</i>	51,5
			<i>Aulacoseira islandica</i>	14,4
			<i>Aulacoseira granulata</i>	37,4
11	<i>Aulacoseira granulata</i>	62,4	<i>Entomoneis paludosa</i>	29,9
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	15,2	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,1
			<i>Aulacoseira granulata</i>	61,8
12	<i>Aulacoseira granulata</i>	67,5	<i>Aulacoseira granulata</i>	53,2
	<i>Aulacoseira granulata</i>	43,0	<i>Asterionella formosa</i>	17,1
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	24,8	<i>Aulacoseira granulata</i>	42,0
14	<i>Aulacoseira granulata</i>	55,9	<i>Halosphaera viridis</i>	27,8
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,7	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,6
			<i>Aulacoseira granulata</i>	56,0
15	<i>Aulacoseira granulata</i>	57,6	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,3
	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	16,5	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	10,7
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,3	<i>Aulacoseira granulata</i>	34,6
16	<i>Aulacoseira granulata</i>	38,2	<i>Cyclotella</i> sp. 1	16,7
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	16,6	<i>Cyclotella</i> sp. 2	14,2
			<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,1
	<i>Stephanodiscus pusillus</i>	11,7	<i>Aulacoseira granulata</i>	53,0
17	<i>Aulacoseira granulata</i>	47,3	<i>Cyclotella</i> sp. 1	16,2
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	22,9		
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,0		
18	<i>Aulacoseira granulata</i>	33,0	<i>Aulacoseira granulata</i>	40,0
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	21,3	<i>Cyclotella</i> sp. 1	18,6
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,8	<i>Cyclotella</i> sp. 2	15,5
19	<i>Aulacoseira granulata</i>	29,0	<i>Monactinus simplex</i>	65,2
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	20,7	<i>Aulacoseira granulata</i>	17,1
	<i>Monactinus simplex</i>	16,6		
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,0		
20	<i>Aulacoseira granulata</i>	56,8	<i>Aulacoseira granulata</i>	46,4
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	11,4	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,3

### Придонный горизонт

**Таксономический состав.** В придонном горизонте исследованной акватории обнаружены микроводоросли из 9 отделов: *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanobacteria*, *Miozoa* (*Dinophyceae*), *Ochrophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta*, *Haptophyta* и *Charophyta*. В зависимости от станции число видовых таксонов ФП колебалось от 14 (ст. 8) до 38 (ст. 20) (в среднем 24,2 на станцию) (рис 5.2–10).

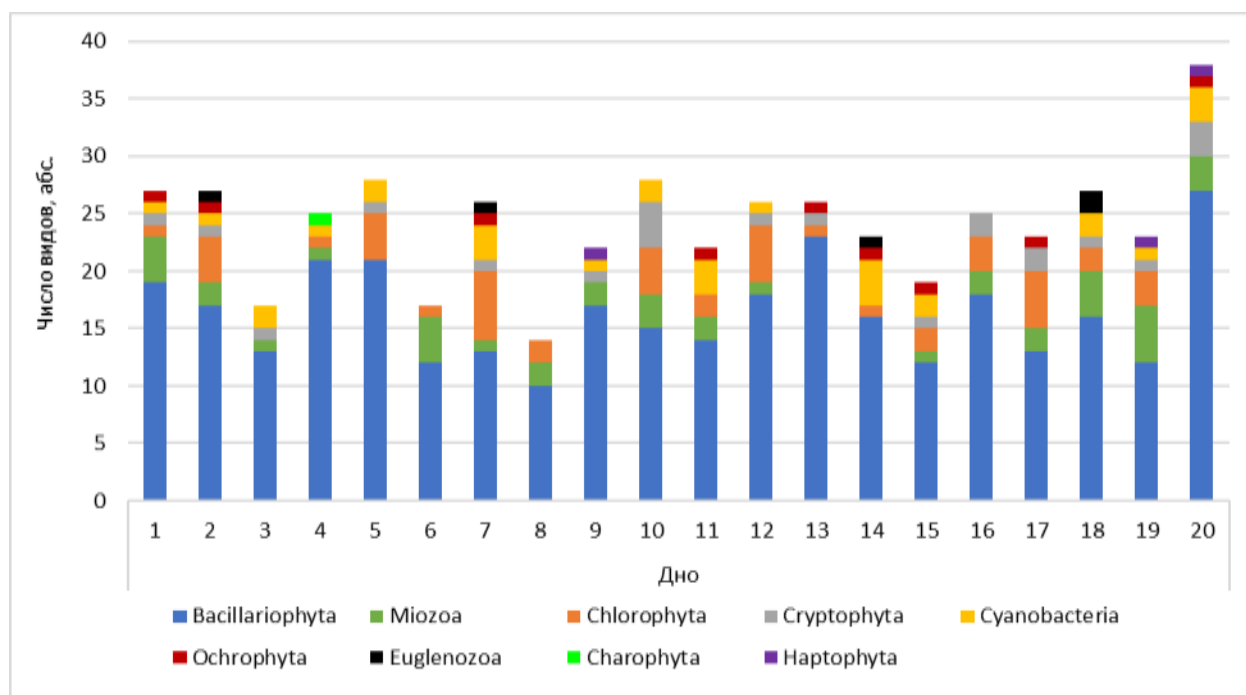


Рис. 5.2 - 10. Вклад таксономических групп в видовое богатство ФП в придонном горизонте, абс.

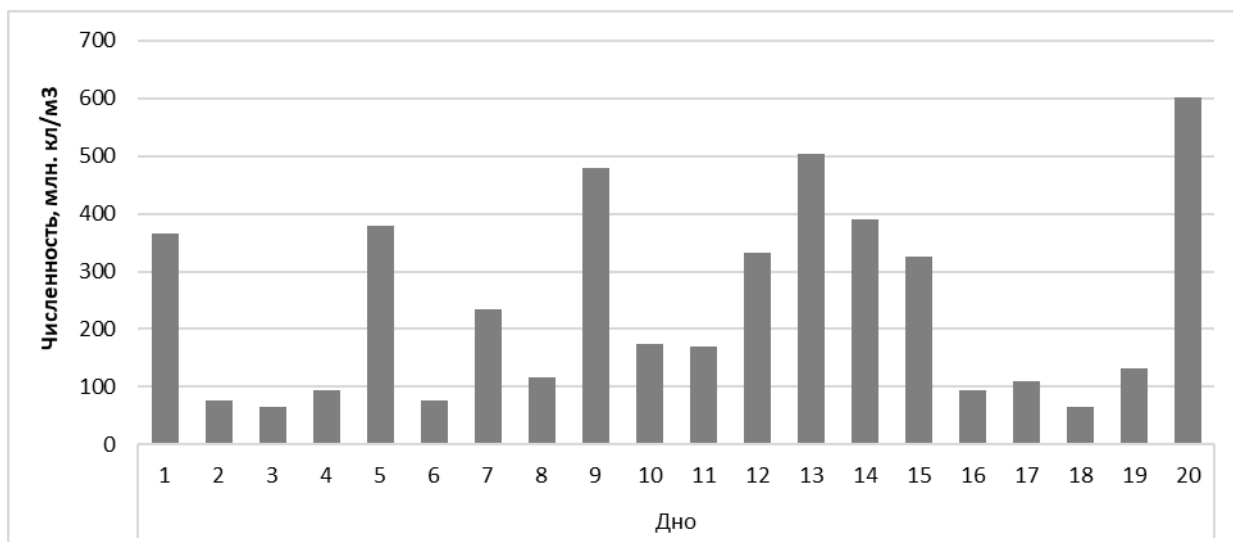
Максимальный вклад в видовое богатство планктонной альгофлоры на всех станциях исследования, как и предыдущих горизонтах, вносил отдел *Bacillariophyta*, содержащий от 10 видовых таксонов на ст. 8 до 27 на ст. 20.

Представители отдела *Chlorophyta* были представлены в зависимости от станции 1–6 видовыми таксонами, за исключением стт. 3, 9 и 20, на которых встречены не были.

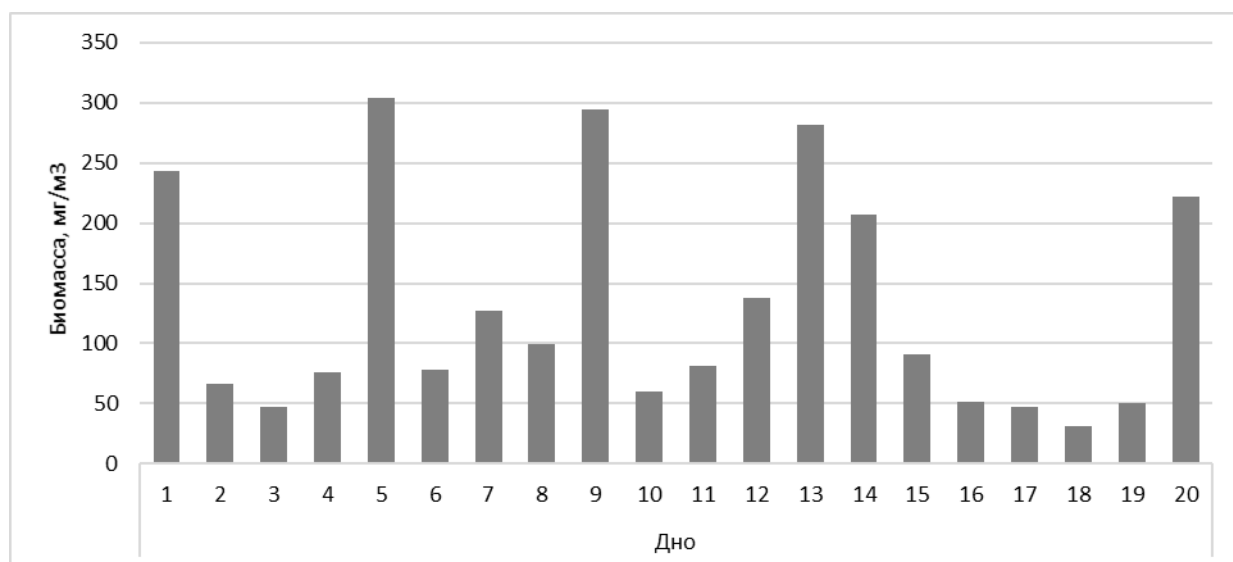
Динофитовые водоросли на большинстве станций обнаруживались в количестве 1–5 видов, кроме стт. 5, 13, 14, где отмечены не были. Цианобактерии и криптофитовые водоросли присутствовали на многих станциях и включали 1–4 вида. Охрофитовые водоросли обнаруживались только на девяти станциях (не более 1 видового таксона на станцию). Эвгленовые и гаптофитовые водоросли не встречались на большинстве станций (рис 5.2–10). Среди эвгленовых водорослей идентифицированы *Eutreptia* sp., *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg и *Trachelomonas* sp., а среди гаптофитовых – *Emiliania huxleyi* и *Coccolithus pelagicus*. В придонном слое только на ст. 4 был зарегистрирован представитель отдела Charophyta – *Staurostrum* sp.

**Количественные показатели фитопланктона, их пространственное распределение.** Общая численность ФП на разных станциях придонного горизонта исследованной акватории изменялась от 64,00 млн кл. /м<sup>3</sup> на ст. 3 и 18 до 602,00 млн кл. /м<sup>3</sup> на ст. 20 (в среднем 239,15 млн кл. /м<sup>3</sup>) (рис 5.2–11).

Общая биомасса ФП варьировала по станциям от 31,48 мг/м<sup>3</sup> на ст. 18 до 303,70 мг/м<sup>3</sup> на ст. 5, составляя в среднем 129,78 мг/м<sup>3</sup> (рис 5.2–12).



**Рис. 5.2 - 11.** Численность фитопланктона на разных станциях придонного горизонта



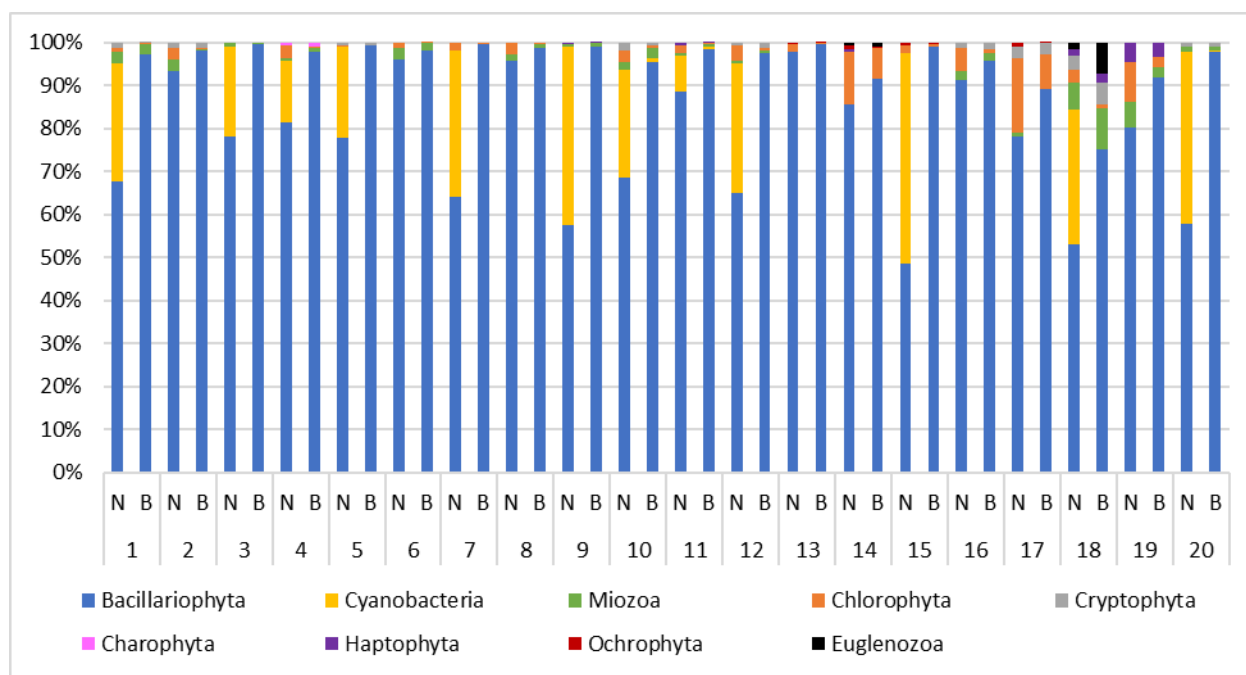
**Рис. 5.2 - 12.** Биомасса фитопланктона на разных станциях придонного горизонта

Главный вклад в количественные показатели фитопланктонных сообществ вносил отдел *Bacillariophyta*, на представителей которого приходилось 48,5–98,0 % от общей численности и 75,2–99,8 % от общей биомассы микроводорослей (рис 5.2–13).

На ряде станций в общей численности ощутимую роль играли цианобактерии, доля которых была наибольшей на ст. 15 и составляла 49,1 %. Зеленые водоросли в численности достигали максимума на ст. 18–17,3 %, однако на стт. 3, 9 и 20 в количественном учете отсутствовали.

Вклад остальных отделов в количественный состав фитопланктонных сообществ на каждой станции был незначительным (рис 5.2–13).





**Рис. 5.2 - 13.** Вклад таксономических групп в численность (N) и биомассу (B) ФП в придонном горизонте на разных станциях.

В придонном слое на всех исследованных станциях, кроме ст. 18, доминантом по количественным характеристикам была диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata*, на долю которой приходилось 27,4–70,1 % в общей численности и 32,5–83,7 % в общей биомассе (Таблица 5.2–3). Среди видов, вносящих заметный вклад в количественные показатели, на многих станциях отмечались центрические диатомеи из рода *Cyclotella*, как и в предыдущих горизонтах.

Доминантами по численности на некоторых станциях выступали диатомеи *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (Müller) Simonsen (ст. 8) и *Fragilaria* sp. (ст. 19), цианобактерии *Aphanocapsa delicatissima* (стт. 1, 4, 7, 9, 12, 15, 20), *Aphanocapsa* sp. (ст. 3), *Aphanothece* sp. (ст. 5, 18) и *Microcystis* sp. (ст. 20). Также в общей численности была заметна роль зеленой водоросли *Pseudopediastrum boryanum* (ст. 14) (Таблица 5.2–3).

В биомассу помимо *Aulacoseira granulata* и *Cyclotella* sp. видимый вклад вносили диатомовые *Asterionella formosa* (стт. 10, 15, 19, 20), *Aulacoseira islandica* (ст. 11), *Coscinodiscus* sp. (стт. 12, 13, 16), *Cyclostephanos dubius* (стт. 15 и 18) и *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst (ст. 20). Заметный вклад других отделов водорослей в общую биомассу не отмечен (Таблица 5.2–3).

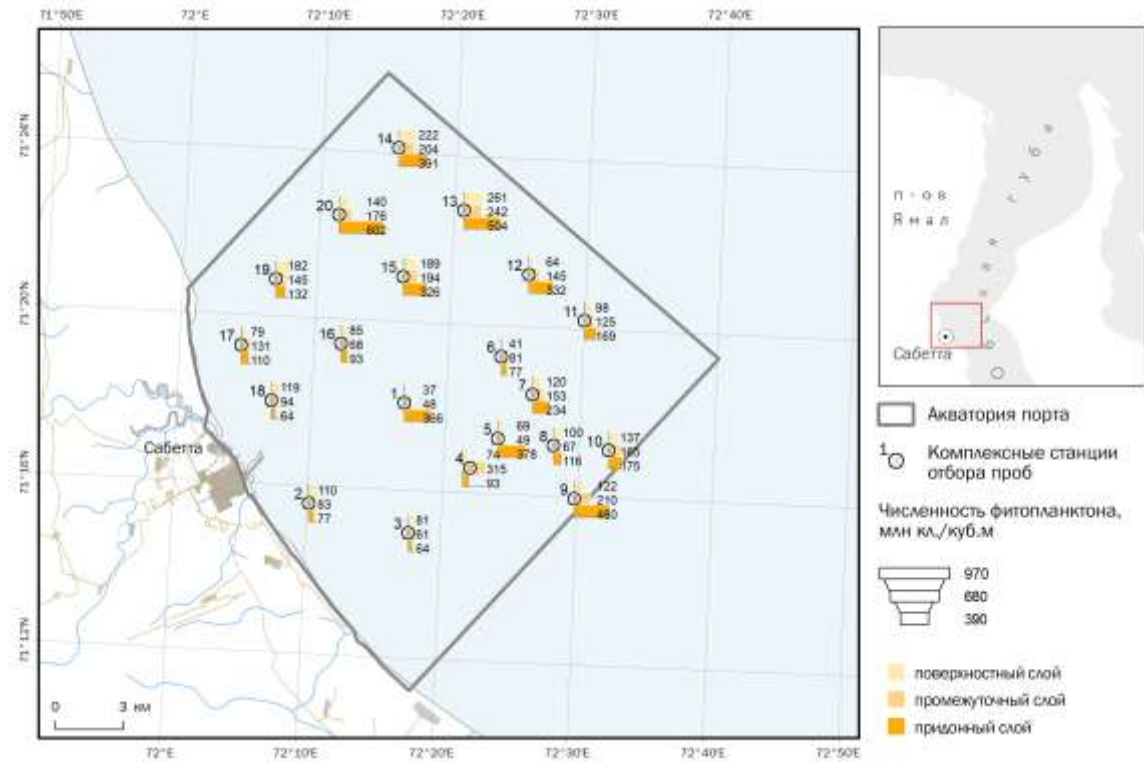
**Таблица 5.2—3** Виды-доминанты по количественным показателям в придонном горизонте

№ станции	Виды-доминанты по численности		Виды-доминанты по биомассе	
	Таксон	% от общей численности	Таксон	% от общей биомассы
1	<i>Aulacoseira granulata</i>	40,4	<i>Aulacoseira granulata</i>	73,4
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	27,3		
2	<i>Aulacoseira granulata</i>	42,9	<i>Aulacoseira granulata</i>	60,3
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	23,4	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,6
3	<i>Aulacoseira granulata</i>	46,9	<i>Aulacoseira granulata</i>	76,0
	<i>Aphanocapsa</i> sp.	20,8		
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,5		
4	<i>Aulacoseira granulata</i>	40,0	<i>Aulacoseira granulata</i>	59,0

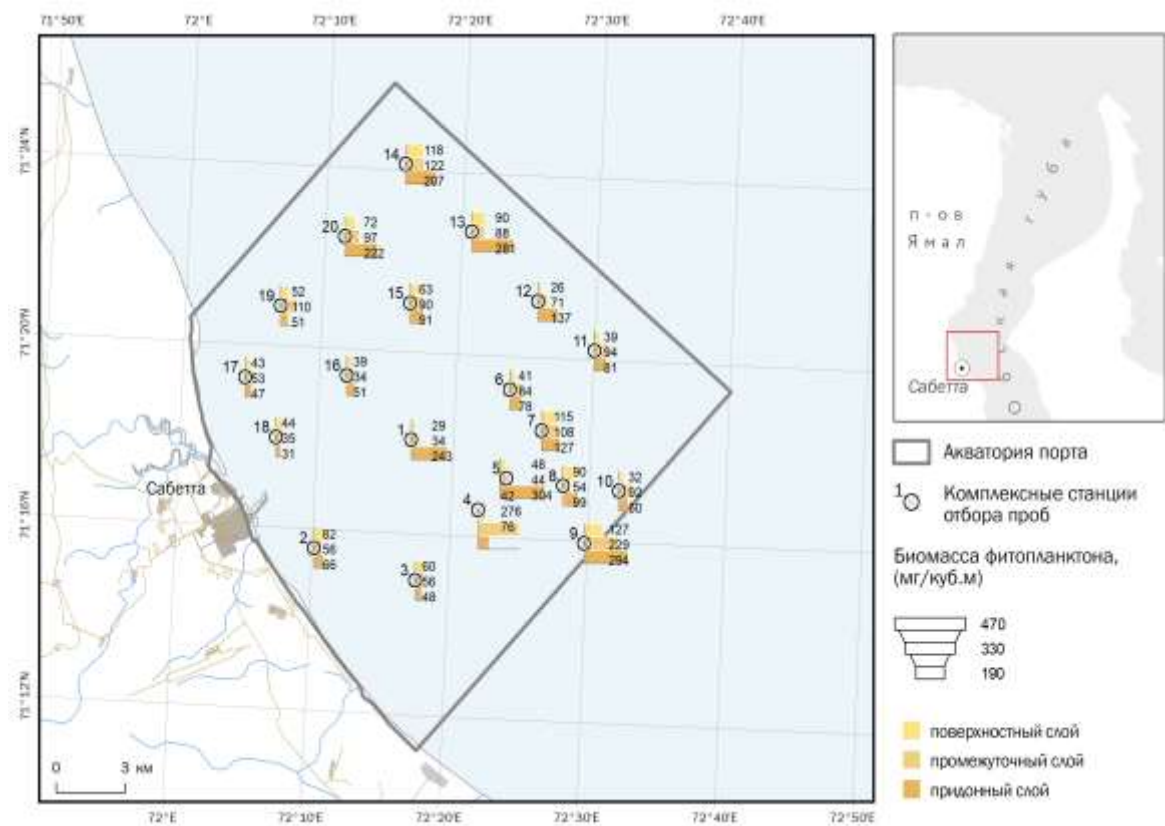
№ станции	Виды-доминанты по численности		Виды-доминанты по биомассе	
	Таксон	% от общей численности	Таксон	% от общей биомассы
5	<i>Cyclotella</i> sp. 1	17,1	<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,5
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	14,3		
	<i>Aulacoseira granulata</i>	45,5	<i>Aulacoseira granulata</i>	68,4
	<i>Aphanothece</i> sp.	21,2		
6	<i>Aulacoseira granulata</i>	70,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	83,7
7	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	34,2	<i>Aulacoseira granulata</i>	60,9
	<i>Aulacoseira granulata</i>	27,4	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,4
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	14,5		
8	<i>Aulacoseira granulata</i>	56,0	<i>Aulacoseira granulata</i>	78,9
	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	12,1		
9	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	41,7	<i>Aulacoseira granulata</i>	78,8
	<i>Aulacoseira granulata</i>	40,0		
10	<i>Aulacoseira granulata</i>	43,4	<i>Aulacoseira granulata</i>	56,7
			<i>Cyclotella</i> sp. 1	10,8
			<i>Asterionella formosa</i>	10,0
11	<i>Aulacoseira granulata</i>	59,2	<i>Aulacoseira granulata</i>	55,3
			<i>Aulacoseira islandica</i>	20,3
			<i>Aulacoseira granulata</i>	49,8
12	<i>Aulacoseira granulata</i>	45,8	<i>Coscinodiscus</i> sp.	13,0
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	30,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	53,5
13	<i>Aulacoseira granulata</i>	66,3	<i>Coscinodiscus</i> sp.	12,7
			<i>Aulacoseira granulata</i>	43,5
			<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,6
14	<i>Aulacoseira granulata</i>	51,2	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,6
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	13,3		
	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	12,3		
15	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	49,1	<i>Aulacoseira granulata</i>	45,7
	<i>Aulacoseira granulata</i>	28,2	<i>Cyclostephanos dubius</i>	17,0
			<i>Asterionella formosa</i>	13,2
16	<i>Aulacoseira granulata</i>	39,8	<i>Aulacoseira granulata</i>	32,5
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	18,3	<i>Coscinodiscus</i> sp.	17,5
			<i>Cyclotella</i> sp. 1	16,6
17	<i>Aulacoseira granulata</i>	46,4	<i>Aulacoseira granulata</i>	48,5
	<i>Cyclotella</i> sp. 1	14,5	<i>Cyclotella</i> sp. 1	16,9
	<i>Aphanothece</i> sp.	31,3	<i>Cyclotella</i> sp. 1	27,0
18	<i>Cyclotella</i> sp. 1	26,6	<i>Cyclostephanos dubius</i>	14,7
			<i>Cyclotella</i> sp. 2	11,4
	<i>Aulacoseira granulata</i>	39,4	<i>Aulacoseira granulata</i>	46,0
19	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,1	<i>Asterionella formosa</i>	17,7
	<i>Fragilaria</i> sp. 1	12,1	<i>Cyclotella</i> sp. 1	15,7
	<i>Aulacoseira granulata</i>	30,6	<i>Aulacoseira granulata</i>	37,4
20	<i>Microcystis</i> sp.	26,6	<i>Asterionella formosa</i>	13,5
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	13,3	<i>Cyclotella</i> sp. 1	12,6
			<i>Gyrodinium aureolum</i>	11,0

Таким образом, в сентябре 2021 г. в исследованной акватории порта Сабетта в зависимости от горизонта и станции исследования число видовых таксонов ФП изменялось от 13 до 38 (в среднем 23,5 на станцию). Стоит отметить, что в придонном горизонте среднее число видов ФП на станцию было самым высоким по сравнению с другими горизонтами и составляло 24,2. Наибольший вклад в видовое богатство планктонной альгофлоры на каждом горизонте вносили представители отдела *Bacillariophyta*.

Общая численность ФП (рис 5.2–14) по всей исследованной акватории изменялась от 36,50 млн кл. /м<sup>3</sup> до 602,00 млн кл. /м<sup>3</sup>, составляя в среднем по трем горизонтам 164,47 млн кл./м<sup>3</sup>. В поверхностном горизонте средняя численность ФП была 116,44 млн кл. /м<sup>3</sup>, промежуточном – 137,83 млн кл./м<sup>3</sup>, придонном – 239,15 млн кл./м<sup>3</sup>.



Общая биомасса ФП (рис 5.2–15) изменялась от 26,13 мг/м<sup>3</sup> до 303,70 мг/м<sup>3</sup>, составляя в среднем по трем горизонтам 94,75 мг/м<sup>3</sup>. В поверхностном горизонте средняя биомасса ФП была 62,62 мг/м<sup>3</sup>, промежуточном – 91,85 мг/м<sup>3</sup>, придонном – 129,78 мг/м<sup>3</sup>.



**Рис. 5.2 - 15.**

Рис. картосхема распределения биомассы фитопланктона (млн.кл. /куб.м.) в акватории порта Сабетта в 2021 году.

Абсолютным доминантом по количественным показателям на всех горизонтах и станциях исследования была центрическая диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata*. Значительный вклад в численность фитопланктонных сообществ на ряде станций вносили также центрические диатомеи рода *Cyclotella*, цианобактерии и некоторые представители отдела Chlorophyta.

В основе биомассы лежали представители отдела *Bacillariophyta*, однако в промежуточном слое среди доминант также встречались зеленые водоросли.

Согласно фитогеографической и экологической характеристикам, большинство идентифицированных микроводорослей являлись космополитами – 79,7 %. Виды арктического происхождения составляли 11,6 % планктонной альгофлоры, на долю бореальных видов приходилось 5,8 %, аркто-бореальных и атлантических видов – по 1,4 %. Среди всех зарегистрированных водорослей 50,4 % являлись пресноводными. На долю морских видов приходилось 21,3 %, солоноватоводных – 28,4 %.

#### **Сравнение полученных результатов с фондовыми данными 2019 года.**

В сентябре 2021 г. видовое богатство ФП было в 1,2 раза ниже, чем в 2019 г. Флористический комплекс в оба года наблюдений был представлен в основном диатомовыми и зелеными водорослями. В 2019 г. также заметную роль в видовой состав планктонной альгофлоры вносили эвгленовые и динофитовые водоросли, а в 2021 г. – цианобактерии (Таблица 5.2-4). Количество видов по станциям в 2019 г. варьировало от 34 до 110, составляя в среднем 76., а в 2021 г. – от 13 до 38, составляя в среднем 23,5 на станцию. В сравниваемые годы заметную роль в видовом богатстве играли представители рода *Aulacoseira*.

По отношению к минерализации водной среды большинство микроводорослей в рассматриваемые годы являлись пресноводными: 60,0 % в 2019 г. и 50,4 % в 2021 г. Согласно фитогеографической характеристике, большая часть идентифицированных микроводорослей являлись космополитами.

**Таблица 5.2—4 Показатели фитопланктона разных лет исследования**

Показатели	Август 2019	Сентябрь 2021
Общее число видовых таксонов ФП на всей акватории	171	141
Флористический комплекс альгофлоры	Диатомово-хлорофитовый с присутствием эвгленовых и динофитовых водорослей	Диатомово-хлорофитовый с присутствием цианобактерий
Средняя численность ФП в поверхностном горизонте	730,69 млн кл/м <sup>3</sup>	116,44 млн кл/м <sup>3</sup>
Средняя численность ФП в промежуточном горизонте	452,03 млн кл/м <sup>3</sup>	137,83 млн кл/м <sup>3</sup>
Средняя численность ФП в придонном горизонте	226,3 млн кл/м <sup>3</sup>	239,15 млн кл/м <sup>3</sup>
Средняя биомасса ФП в поверхностном горизонте	800,48 мг/м <sup>3</sup>	62,62 мг/м <sup>3</sup>
Средняя биомасса ФП в промежуточном горизонте	865,01 мг/м <sup>3</sup>	91,85 мг/м <sup>3</sup>
Средняя биомасса ФП в придонном горизонте	774,23 мг/м <sup>3</sup>	129,78 мг/м <sup>3</sup>

Анализ количественных характеристик показал, что в летний период 2019 г. наблюдается тенденция уменьшения численности микроводорослей от поверхности к придонному слою. В осенний период 2021 г., наоборот, сосредоточение водорослей в акватории максимально в придонном горизонте. Данный факт может быть связан с температурным фактором, учитывая, что наблюдения проводились в разные сезоны года.

Средняя численность ФП по всем горизонтам в 2019 г. составляла 469,67 млн кл/м<sup>3</sup>, а в 2021 г. – 164,47 млн кл/м<sup>3</sup>, т. е. в августе численность ФП была в 2,9 раз выше, чем в сентябре.

Средняя биомасса в 2019 г. была в 8,5 раз выше, чем в 2021 г. и составляла соответственно 813,24 мг/м<sup>3</sup> и 94,75 мг/м<sup>3</sup>. Данная разница в показателях биомассы, вероятно, может быть связана с присутствием большего количества мелкоклеточных форм в осенний сезон.

Необходимо учесть тот факт, что сравнение результатов исследований 2021 г. с 2019 г. не вполне корректно, так как сбор материала проходил в различные сезоны: в 2021 г. – в сентябре; в 2019 г. – в августе. Соответственно, результаты исследований характеризовали состояние фитопланктонного сообщества в различные биологические сезоны.

Выявленные различия в качественном и количественном составех ФП, вероятно, связаны с особенностями сезонного развития, солнечной активности, а также с океанографическими особенностями (температура, динамика водных масс) конкретного года в период отбора проб.

В сентябре 2021 г. в исследованной акватории порта Сабетта в зависимости от горизонта и станции исследования число видовых таксонов ФП изменялось от 13 до 38 (в среднем 23,5 на станцию). Стоит отметить, что в придонном горизонте среднее число видов ФП на станцию было самым высоким по сравнению с другими горизонтами и составляло 24,2. Наибольший вклад в видовое богатство планктонной альгофлоры на каждом горизонте вносили представители отдела *Bacillariophyta*.

### **Хлорофилл *a* и первичная продукция**

Изучение содержания и распределения хлорофилла А и продукционных характеристик фитопланктона в акватории порта Сабетта проводили в период с 6 по 10 сентября 2021 г. Было отработано 20 станций, содержание хлорофилла А (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) определяли на 3-х горизонтах (поверхностный, промежуточный слой и придонный), продукционные показатели (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) определяли в пределах ФЗ на 4 горизонтах (100%, 50%, 10% и 1% от исходной освещенности).

Содержание хлорофилла А отличалось на порядок, составляя от 0,70 мг/м<sup>3</sup> в поверхностном горизонте на ст. 11 до 8,49 мг/м<sup>3</sup> в придонном горизонте на ст. 2. У поверхности концентрация хлорофилла А составляла 0,70–7,12 мг/м<sup>3</sup> (2,22±0,33 мг/м<sup>3</sup>), в промежуточном слое на глубине 4–10 м – 0,83–4,50 мг/м<sup>3</sup> (2,06±0,23 мг/м<sup>3</sup>), у дна (глубина 7–20 м) 1,42–8,49 мг/м<sup>3</sup> (3,2±0,43 мг/м<sup>3</sup>). Средневзвешенное содержание хлорофилла А, оцененное по медиане, как более робастной к выбросам характеристике, у поверхности и в промежуточном слое было сопоставимым, ко дну содержание хлорофилла А повышалось.

Для оценки благоприятности условий среды и фотосинтетической активности хлорофилла было использовано процентное содержание феофитина от суммы «хлорофилл + феофитин». Хлорофилл А является основным фотосинтетическим пигментом фитопланктона, обеспечивающим фотосинтез, то есть процессы новообразования органического вещества из



минеральных веществ и воды за счет солнечной энергии. Однако активность пигмента сильно зависит от благоприятности условий среды, а также подвержена внутри- и межсезонной изменчивости. Одним из показателей общей активности хлорофилла А (т. е. его способности воспринимать солнечную энергию и обеспечивать фотосинтез) является доля феофитина *a* (неактивной формы хлорофилла А, лишенной иона магния) в общей сумме «хлорофилл + феофитин». Доля феофитина обратно коррелирует с продукционной активностью фитопланктона (Foy, 1987; Мошаров и др., 2016), при этом процесс феофитинизации, связанный с дефицитом ФАР, наблюдается при опускании клеток фитопланктона ниже эвфотической зоны и нахождении там определенное время (более 70 часов) (Yentsch, 1965) и может быть обратим (Мошаров, Сергеева, 2018).

Для активной фазы развития сообщества и высокой продукционной активности характерно содержание феофитина на уровне меньше 40%, при содержании феофитина от 40 до 65% фитопланктон находится в угнетенном состоянии с пониженной физиологической активностью, при доле феофитина выше 65% клетки водорослей не обладают нужным для фотосинтеза потенциалом и отмирают (Мошаров, Сергеева, 2018).

В период работ доля феофитина варьировала в достаточно широких пределах – от 30% у поверхности на ст. 16, до 63,6% у дна на ст. 11. При этом среднее содержание неактивной формы хлорофилла на всех горизонтах отбора было сопоставимо –  $44,2 \pm 1,7\%$  у поверхности,  $44,4 \pm 1,7\%$  в промежуточном слое и  $44,9 \pm 1,9\%$  у дна. Физиологическое состояние водорослей варьировало от хорошего с высокой потенциальной продукционной активностью, до угнетенного с пониженными продукционными показателями, близкого к пограничной зоне необратимой деградации фотосистем. Важно отметить, что повышение доли феофитина может быть вызвано рядом естественных причин – наличием хлорофиллсодержащей взвеси, особенно в пятнах повышенной мутности, наличием растительного детрита, пищевой активностью зоопланктона (Берсенева, Крупаткина, 1990), а также деградацией фотосистем при продолжительном нахождении за пределами ЭФЗ.

Данные по содержанию хлорофилла А и продуктов его деградации (по доле феофитина от суммарного содержания хлорофилл + феофитин) в акватории порта Сабетта по горизонтам, а также некоторые статистические характеристики приведены в таблице 5.2–5.

Таблица 5.2—5 Содержание хлорофилла А и доля продуктов его деградации.

Станция	Хлорофилл А, мг/м <sup>3</sup>			Феофитин, %			Глубина, м	
	Пов-ть	Пром.	Дно	Пов-ть	Пром.	Дно	Пром.	Дно
1	3,22	3,84	3,93	33,9	32,6	36,7	8,5	16,5
2	7,12	4,50	8,49	41,1	38,5	42,8	4	7,4
3	1,51	1,21	1,66	53,5	55,2	49,5	5,8	11
4	3,23	1,81	2,72	34,3	45,1	39,7	8,4	16,2
5	2,61	1,70	7,47	36,2	38,5	39,8	9,5	18,5
6	0,94	1,16	4,13	50,7	55,2	48,7	9,2	17,8
7	1,66	1,84	1,63	49,4	48,6	48,5	9,5	18,4
8	1,83	1,72	3,91	49,4	50,1	39,5	8,7	16,9
9	1,82	1,62	2,59	44,8	44,8	44,0	10,1	19,6
10	1,49	1,59	1,57	42,5	44,3	46,2	9,6	19



11	0,70	0,83	1,42	52,9	48,3	63,6	9,6	18,7
12	0,89	1,69	2,51	50,6	55,1	57,5	9,5	18,5
13	0,92	1,05	2,31	55,9	54,3	51,9	8,8	17,1
14	1,64	1,71	1,84	47,2	43,7	50,0	8,7	16,8
15	1,38	1,48	1,62	49,0	46,3	53,0	9	17,4
16	3,99	3,67	4,59	30,0	30,4	33,0	6,6	12,7
17	1,87	1,94	2,59	46,0	41,7	34,2	3,7	6,9
18	3,59	2,92	3,93	34,3	31,3	32,6	4,2	7,9
19	2,66	3,29	3,44	36,5	37,5	37,1	5,7	10,8
20	1,25	1,54	1,72	46,1	45,5	49,6	8,2	15,8
Min	0,70	0,83	1,42	30,0	30,4	32,6	3,7	6,9
Max	7,12	4,50	8,49	55,9	55,2	63,6	10,1	19,6
Mean±S E	2,22±0,33	2,06±0,23	3,2±0,43	44,2±1,7	44,4±1,7	44,9±1,9	7,9±0,5	15,2±0,9
Median	1,74	1,71	2,59	46,1	45,0	45,1	8,7	16,9

Согласно классификации трофности вод Обско-Тазовской устьевой области (Гаевский и др., 2010) воды обследованной акватории порта Сабетта по содержанию хлорофилла А соответствовали переходному от олиго- к мезотрофному уровню.

Пространственное распределение хлорофилла А было выражено мозаичным (рис 5.2–16). При этом очаги повышенного содержания хлорофилла А не имели чёткой пространственной приуроченности и зафиксированы как в районах гидротехнических объектов (ст. 2, 6, 16, 18), так и в районах свала грунтов (ст. 5, 8, 19). Область пониженных концентраций (трансекта станций 11–14) наблюдалась в наиболее удаленной от берега части обследованной акватории. При этом достоверной корреляции содержания хлорофилла А у дна с глубиной станции не выявлено.

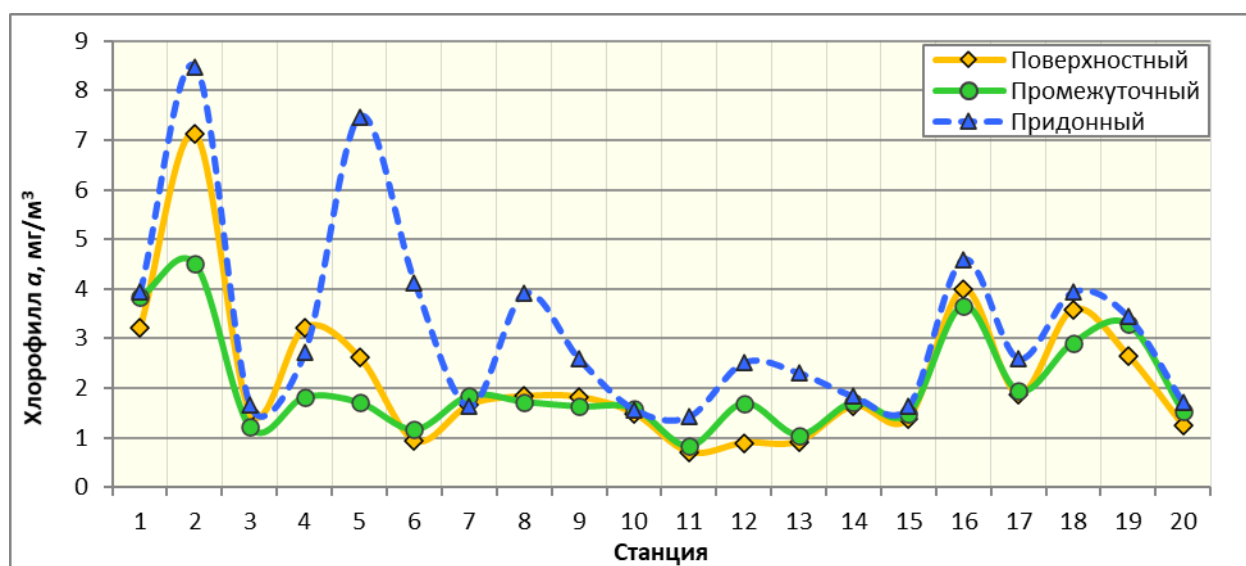


Рис. 5.2 - 16.

Пространственное распределение хлорофилла А.

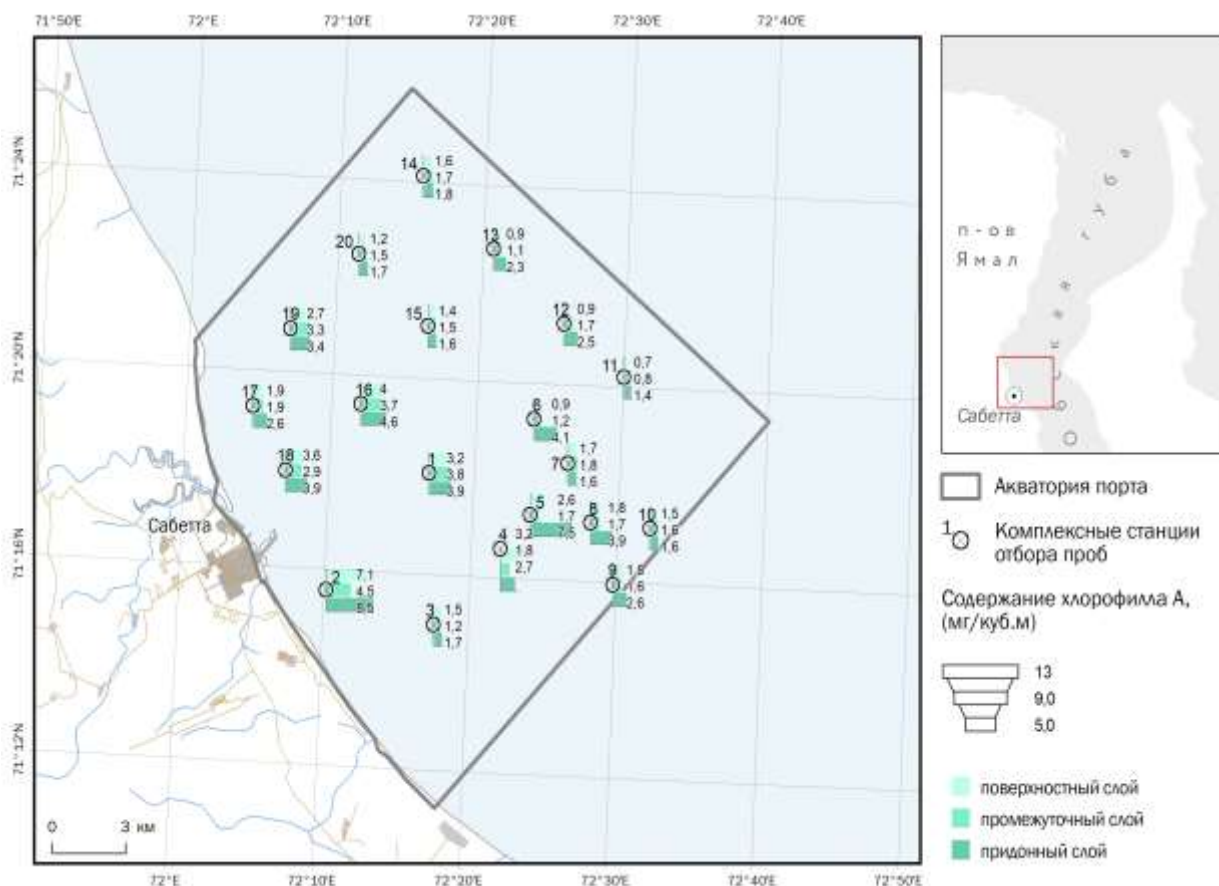


Рис. 5.2 - 17.

Картограмма пространственного распределения хлорофилла А (в мг/куб.м) в акватории порта Сабетта в 2021 году..

Интегральное содержание хлорофилла,  $a$  в столбе воды, рассчитанное методом трапеций по всему массиву данных (данные со всех горизонтов отбора, и на хлорофилл, и на первичную продукцию) варьировало от 13,7 до 57,1 мг/м<sup>2</sup>, составляя в среднем  $30,1 \pm 2,6$  мг/м<sup>2</sup> (медиана 28,9 мг/м<sup>2</sup>). Пространственное распределение интегрального содержания хлорофилла А приведено на рис 5.2–18. Содержание хлорофилла А под квадратным метром не коррелировало с мощностью столба интегрирования и определялось на мелководье локальным содержанием пигмента на отдельных горизонтах, на более удаленных от берега станциях – общей глубиной на станции. Очаги повышенных и пониженных концентраций не имели пространственной приуроченности и были расположены мозаично (максимумы на ст. 1, 5, 16, минимумы на ст. 3, 11, 17).

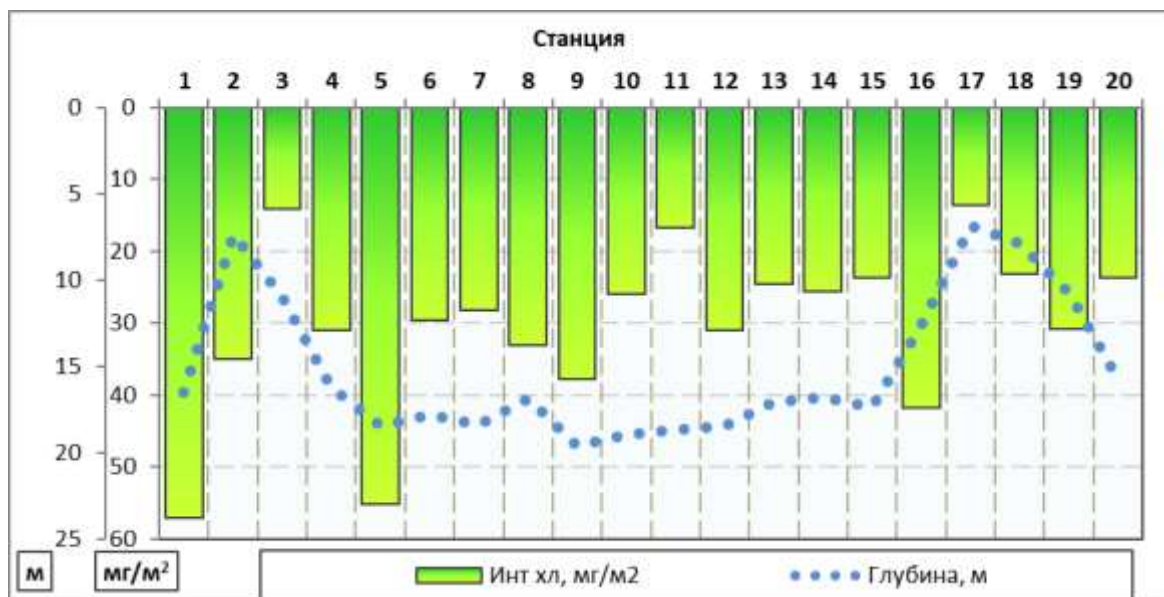


Рис. 5.2 - 18. Интегральное содержание хлорофилла А в столбе воды.

Пространственное распределение продуктов деградации хлорофилла А (оцененное по доле феофитина) было более равномерным (рис 5.2–19). Значения показателя ниже 40%, соответствующие хорошему физиологическому состоянию водорослей, были отмечены на ст. 1, 2, 4, 5, 16, 18, 19, то есть как у гидротехнических объектов и районах свала грунтов, так и в отдалении от них. Таким образом, пространственное распределение доли феофитина также было мозаичным без чётких паттернов распределения.

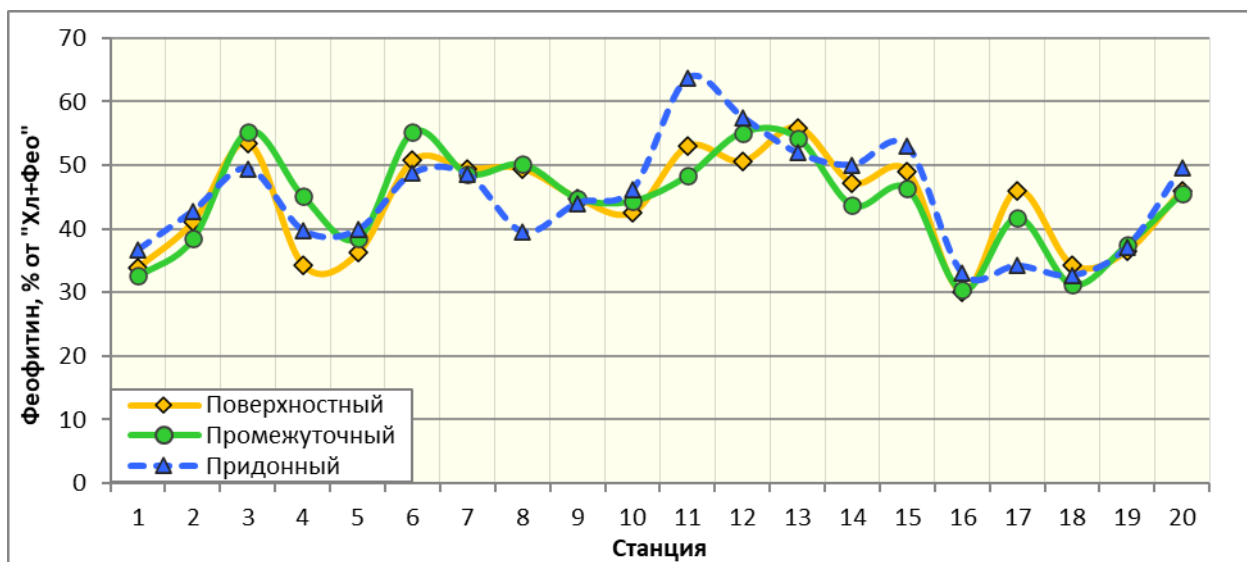
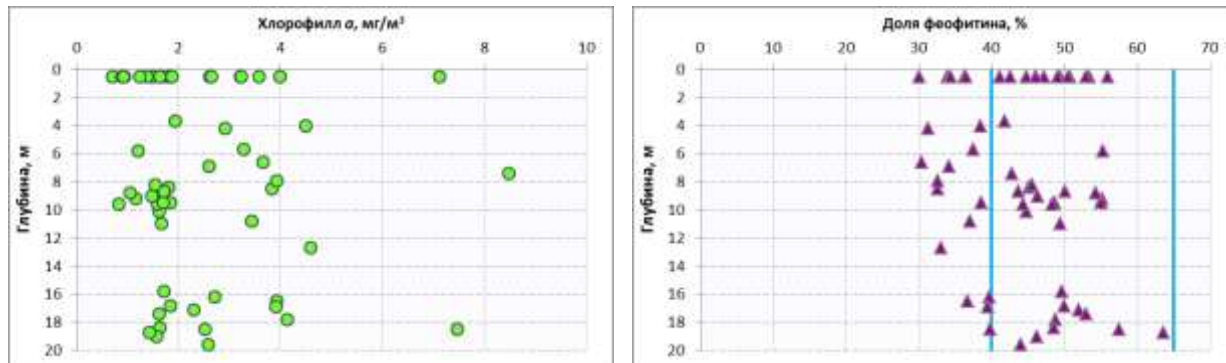


Рис. 5.2 - 19. Пространственное распределение продуктов деградации хлорофилла А.

Вертикальное распределение хлорофилла А и доли феофитина было проанализировано для двух массивов данных – для стандартных гидрохимических горизонтов отбора: поверхность, промежуточный слой, дно, и для всех горизонтов отбора, включающих как стандартные, так и дополнительные в пределах фотической зоны, отобранные для анализа

первичной продукции (рис 5.2–20). Вертикальное распределение обоих показателей было равномерным, характер распределения не менялся при включении в анализ большего массива данных.

А)



Б)

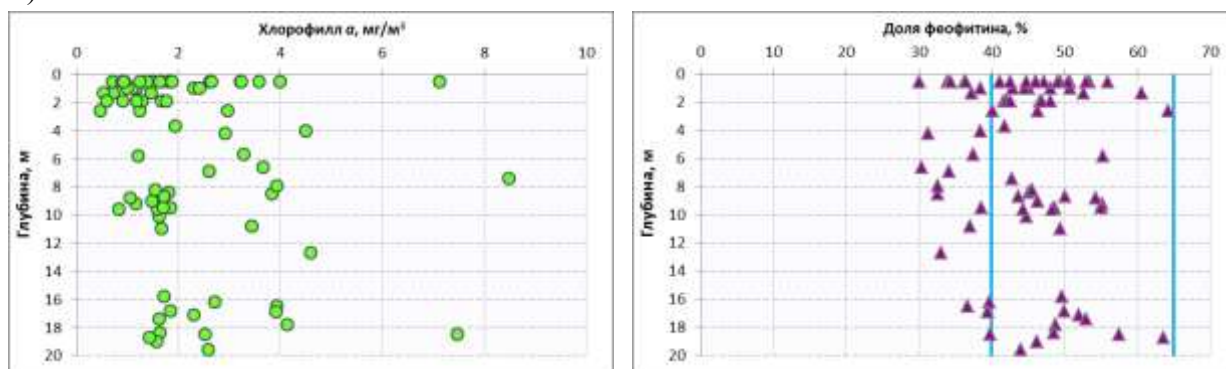


Рис. 5.2 - 20.

Вертикальное распределение хлорофилла А и доли феофитина на стандартных горизонтах отбора (А) и для всего массива данных (Б).

Интегральное содержание хлорофилла А в столбе воды составляло 13,7–57,1 мг/м<sup>2</sup>, при этом содержание хлорофилла А в эвфотической зоне составляло всего 1,18–6,74 мг/м<sup>2</sup> (5–24% от общего содержания на станции), то есть большая часть хлорофилла была сосредоточена за пределами фотического слоя. Это связано с малой мощностью ЭФЗ в условиях высокой мутности.

Обобщенные данные по продукционным характеристикам фитопланктона на разных горизонтах освещенности, а также интегральной ПП и интегральному содержанию хлорофилла А в ЭФЗ приведены в таблице 5.2–6. Первичная продукция фитопланктона в поверхностном слое, рассчитанная по формуле Шемшуры с соавт. (1990), варьировала от 26,2 до 221,0 мгС/м<sup>3</sup> в сут., в среднем составляя 74,5±10,2 мгС/м<sup>3</sup> в сут. (медиана была в 1,2 раза ниже – 60,5 мгС/м<sup>3</sup> в сут.). Первичная продукция у поверхности, рассчитанная с учётом количества солнечной радиации, была ниже в 1,1–1,5 раза, но в целом сопоставима - от 17,9 до 184,5 мгС/м<sup>3</sup> в сут. (в среднем 57,2±8,7 мгС/м<sup>3</sup> в сут.). Количество поступающей солнечной радиации в период работ составляло 626–932 Дж/см<sup>2</sup>, то есть отличалось в 1,5 раза. Расчёт ПП без учета объема доступной ФАР приводит к завышению полученных результатов. В слое 50% освещенности уровень продукционных процессов был сопоставим с поверхностным (53,3±7,4 мгС/м<sup>3</sup> в сут.), с глубиной стремительно снижался.

Суточное ассимиляционное число (САЧ), отражающее фотосинтетическую активность хлорофилла, у поверхности составляло порядка 26 мгС/мг Хл в сут. ( $AЧ = 1,61$  мгС/мг Хл в час светового дня), в слое 50% освещенности – 22–25 мгС/мг Хл в сут. и 1,57 мгС/мг Хл в час светового дня соответственно, в слое 10% освещенности – 5,9–8,5 мгС/мг Хл в сут. и 0,48 мгС/мг Хл в час светового дня, на границе фотической зоны величины показателей были незначительными.

Таблица 5.2—6 Продукционные характеристики фитопланктона.

	ПП, мгС/м³ в сут.					ИПП, мгС/м² в сут.	Инт. Хл. в ЭФЗ, мг/м²
	По: Шемшура и др., 1990	По: Руководство ..., 1983					
Освещенность	100%	100%	50%	10%	1%	ЭФЗ	ЭФЗ
Min	26,2	17,9	18,0	3,1	0,05	14,6	1,18
Max	221,0	184,5	155,5	24,2	0,49	99,3	6,74
Mean±SE	74,5±10,2	57,2±8,7	53,3±7,4	10,7±1,2	0,28±0,03	40,48±4,72	3,18±0,34
Median	60,5	44,7	43,8	9,3	0,29	33,2	2,84

Интегральная ПП (ИПП) фитопланктона в ЭФЗ варьировала от 14,6 до 99,3 мгС/м<sup>2</sup> в сут., в среднем составляя 40,48±4,72 мгС/м<sup>2</sup> в сут., медиана была ниже (33,2 мгС/м<sup>2</sup> в сут.), что указывает на мозаичность распределения (рис 5.2–21) Мощность ЭФЗ на акватории изменялась незначительно, ПП фитопланктона на станциях определялась содержанием хлорофилла в фотической зоне, а не мощностью столба интегрирования. Пространственное распределение ИПП по акватории приведено на рис 5.2–22. Максимальные значения отмечены в центральной части прибрежной и центральной областей (ст. 1, 2, 16, 18).

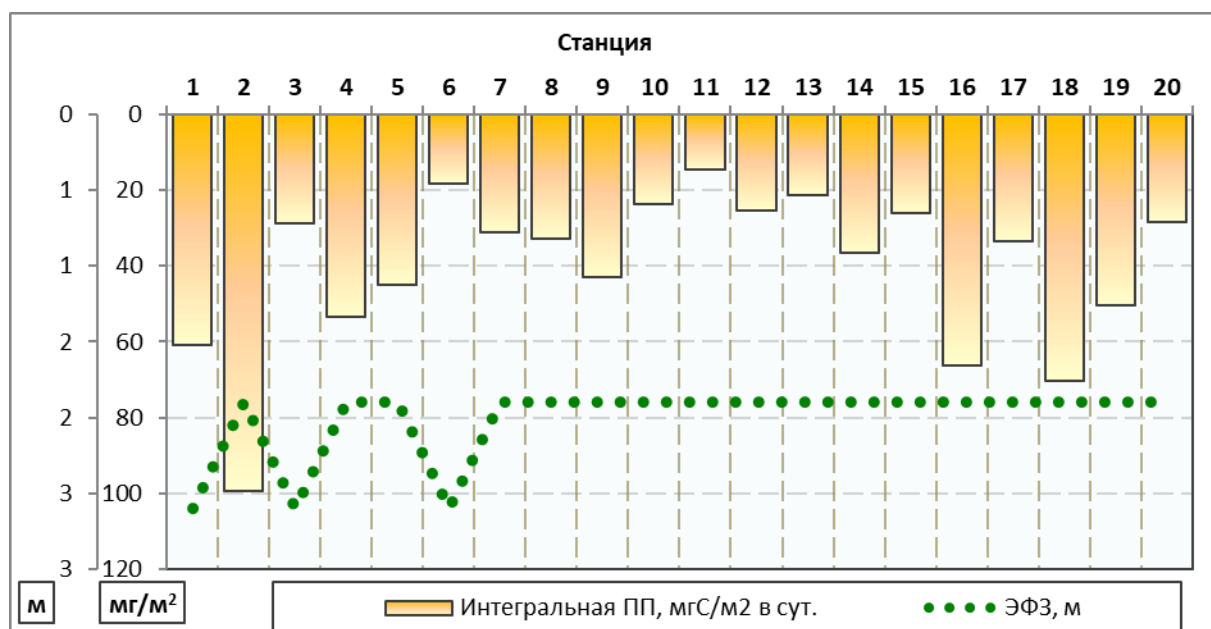


Рис. 5.2 - 21.

Пространственное распределение продукционных показателей.



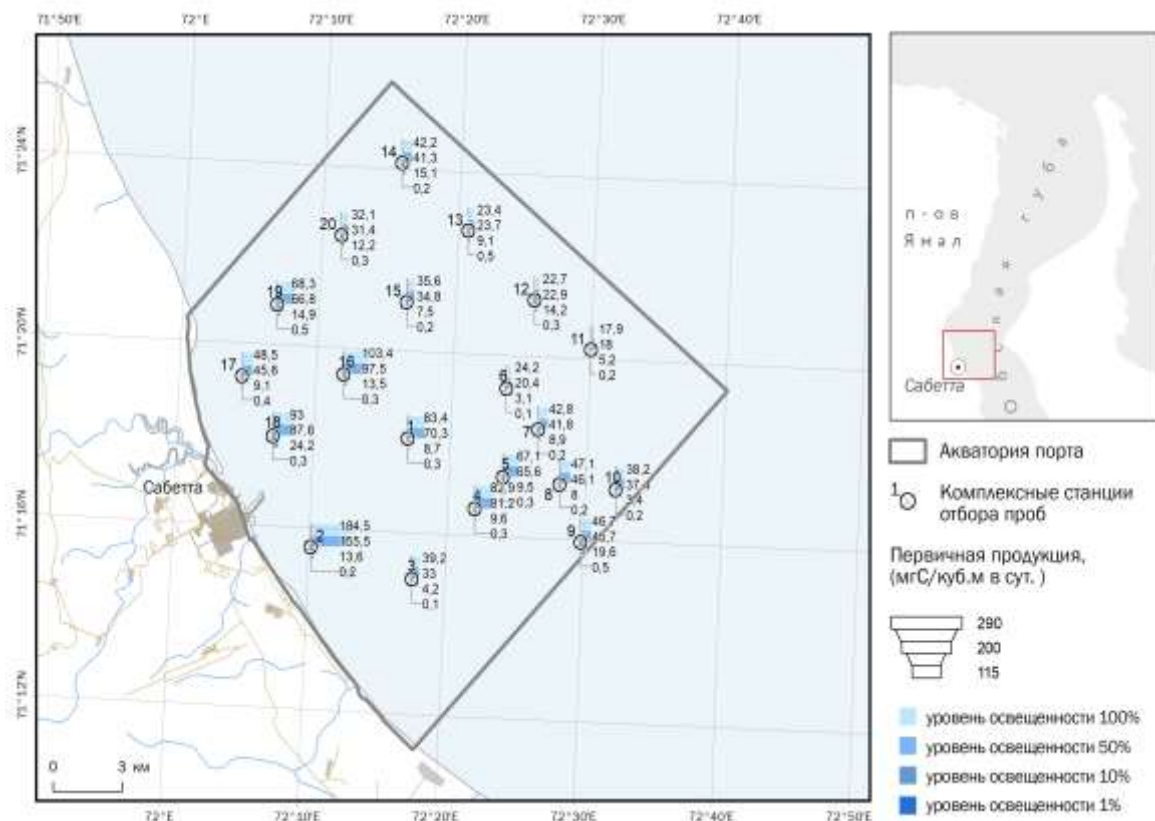


Рис. 5.2 - 22.

Картограмма Пространственного распределения продукционных показателей. в акватории порта Сабетта в 2021 году.

Содержание хлорофилла А и уровень продукционных процессов в сентябре 2021 г. соответствовали олиготрофному статусу вод (по классификации вод Обско-Тазовской устьевой области). На отдельных станциях – мезотрофному. Это согласуется с опубликованными данными, согласно которым пик продукционной активности приходится на июль-август, а к сентябрю-октябрю фотосинтез затухает, величины первичной продукции выравниваются вдоль всей акватории Обской губы и уменьшаются в абсолютных значениях на порядок (Лапин, 2014).

По данным литературы в осенний период ПП Обской губы составляет 30–40 мгС/м<sup>3</sup> в сут., а в слое под м<sup>2</sup> — до 60 мг С/м<sup>2</sup> в сутки (Ведерников и др., 1994; Суханова и др., 2010). Это согласуется с полученными в сентябре 2021 г. результатами: интегральная ПП фитопланктона в ЭФЗ варьировала от 14,6 до 99,3 мгС/м<sup>2</sup> в сут., в среднем составляя 40,48±4,72 мгС/м<sup>2</sup> в сут.

Согласно предоставленным фондовым данным, изучение содержания и распределения хлорофилла А и продукционных показателей в акватории п. Сабетта проводили в августе 2019 г. (Итоговый отчет, 2020, для анализа из отчёта взяты станции 61–80, расположенные в акватории порта). Содержание хлорофилла А в 2021 г. изменялось в том же диапазоне, что и в 2019 г., средневзвешенная концентрация была чуть ниже (2,22±0,33 мг/м<sup>3</sup> в 2021 г. против 2,36±0,39 мг/м<sup>3</sup> в 2019 г.), что связано с сезонным фактором – в августе фитопланктон находится на летней стадии сезонной сукцессии, к осени начинается постепенное снижение количественных показателей. Характерное для начала осени постепенное снижение фотосинтетической активности хорошо прослеживается в отличиях по доле феофитина, показателям ПП и ассимиляционной активности (САЧ и АЧ). Доля неактивного хлорофилла в



сентябре 2021 г. была выше, а ПП и ассимиляционная активность водорослей – ниже, чем в августе 2021 г. Это отражает постепенное затухание вегетации фитопланктона переход сообщества к осенней фазе сукцессии. Полученные в 2021 г. результаты согласуются с данными литературы и предыдущих работ и позволяют охарактеризовать состояние экосистемы как естественное, критических изменений не выявлено.

### 5.2.2. Ихтиопланктон

Мониторинг состояния ихтиопланктона проводился на акватории Обской губы в районе подходного канала и в районе морского подводного отвала грунта порта Сабетта в сентябре 2021 г. на 20 станциях путём облова поверхностного слоя воды на циркуляции судна. В уловах на циркуляции ихтиопланктонных видов вселенцев в пробах не отмечено.

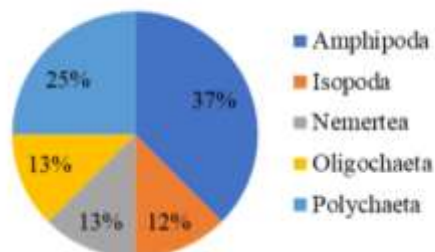
По результатам исследований предыдущих лет (2019–2021 гг.) все немногочисленные аборигенные виды рыб, отмечающиеся в исследуемом районе, в эти годы (азиатская корюшка, девятииглая клюшка, Сибирская ряпушка и четырёхрогий бычок) находились преимущественно на предмальковых и мальковых стадиях развития, и уже могли противостоять течениям, что позволяло им совершать миграции в местообитания согласно их жизненной стратегии, а гидрометеорологические условия, складывающиеся в период проведения исследований, могли способствовать их миграции в традиционные ареалы обитания. За период исследований новых видов вселенцев на акватории порт Сабетта – Карское море в уловах не отмечено.

### 5.2.3. Макрозообентос

В сентябре 2021 г. в Обской губе в районе пос. Сабетта собран дночерпательный материал с 20 станций в диапазоне глубин от 7,4 до 20,1 м в 3 повторностях (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

В собранном материале зообентос был представлен 8 таксономическими единицами (табл. 5.2–7), 5 из которых идентифицированы до видового уровня, три относились к более высоким систематическим рангам (немертины, олигохеты и неидентифицируемые фрагменты бокоплавов). Бокоплавы были представлены тремя таксонами, полихеты – двумя, немертины, изоподы и олигохеты насчитывали по одному таксону (рис. 5.2–23). Редких и охраняемых видов макрозообентоса не обнаружено.

**Вклад различных таксонов в общее биоразнообразие**



**Рис. 5.2 - 23.** Соотношение количества видов различных таксонов на исследованной акватории.

Таблица 5.2—7 Видовой состав зообентоса в районе Сабетты в сентябре 2021 г.

Taxa	Gen.sp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Amphipoda	Amphipoda gen.sp.			+											+			+			
Amphipoda	<i>Monoporeia affinis</i>	+	+		+			+	+								+	+		+	+
Amphipoda	<i>Pontoporeia femorata</i>	+			+	+	+		+	+	+	+	+	+			+	+		+	+
Isopoda	<i>Saduria entomon</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Nemertea	Nemertea gen.sp.						+		+	+	+				+		+	+			
Oligochaeta	Oligochaeta g.sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Polychaeta	<i>Ampharete vega</i>					+						+		+	+	+	+		+		+
Polychaeta	<i>Marenzelleria arctica</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Число видов на станциях колебалось от 4 до 7 и в среднем составило  $5,1 \pm 0,2$  видов (рис 5.2–24; таблица 5.2–7). В целом небольшое разнообразие видов в материале и невысокий разброс не позволяют судить о каких-либо различиях в пределах акватории, наиболее и наименее богатые видами станции не приурочены к одной части полигона (рис 5.2–25).

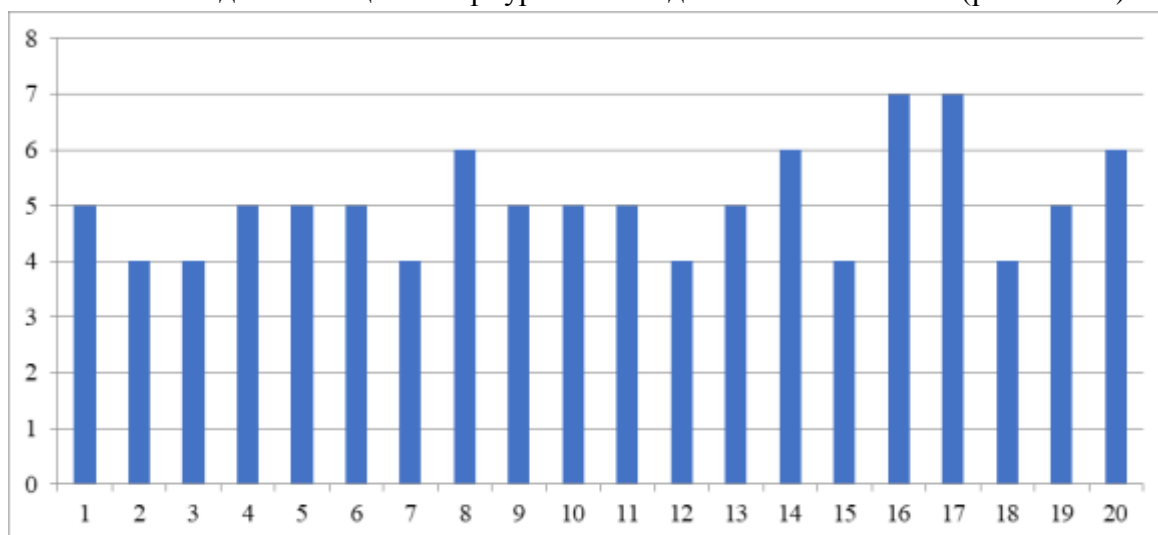


Рис. 5.2 - 24. Количество видов зообентоса на станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г.

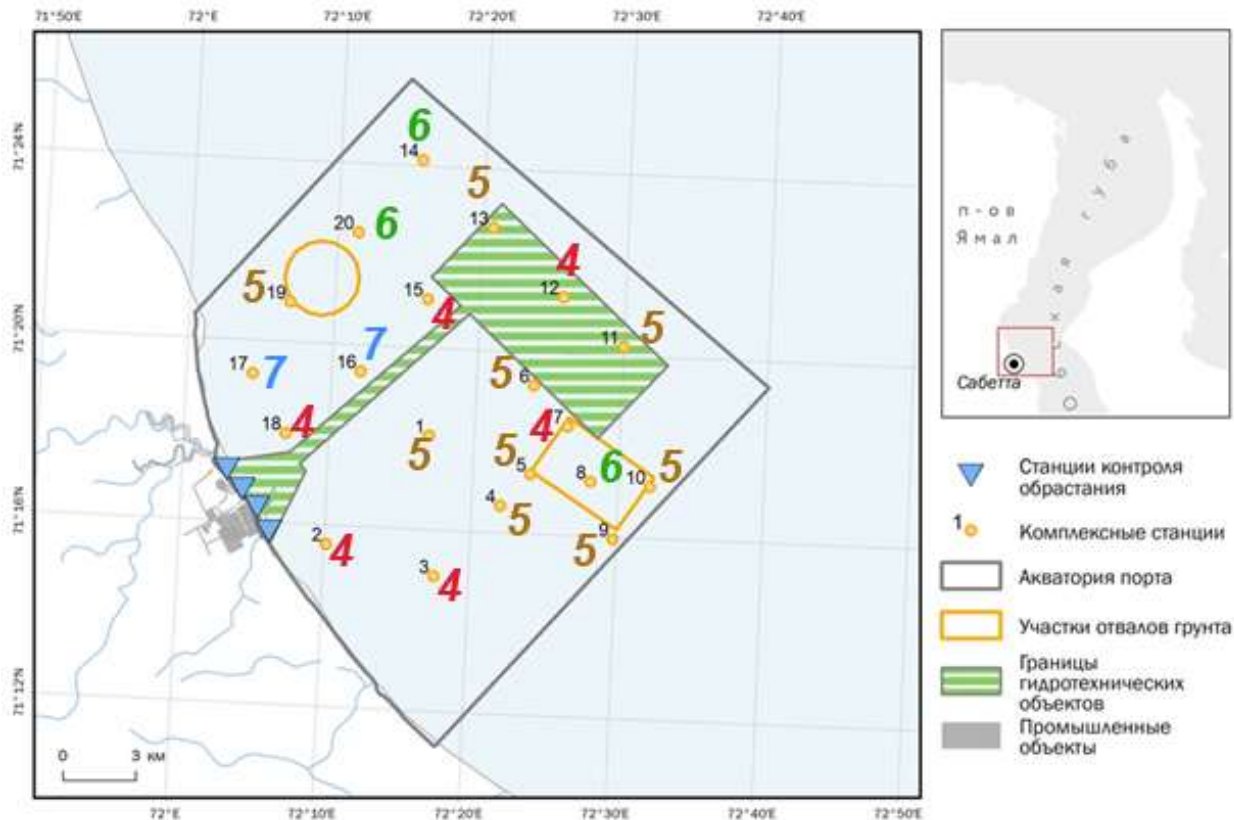


Рис. 5.2 - 25. Количество видов зообентоса на станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г.

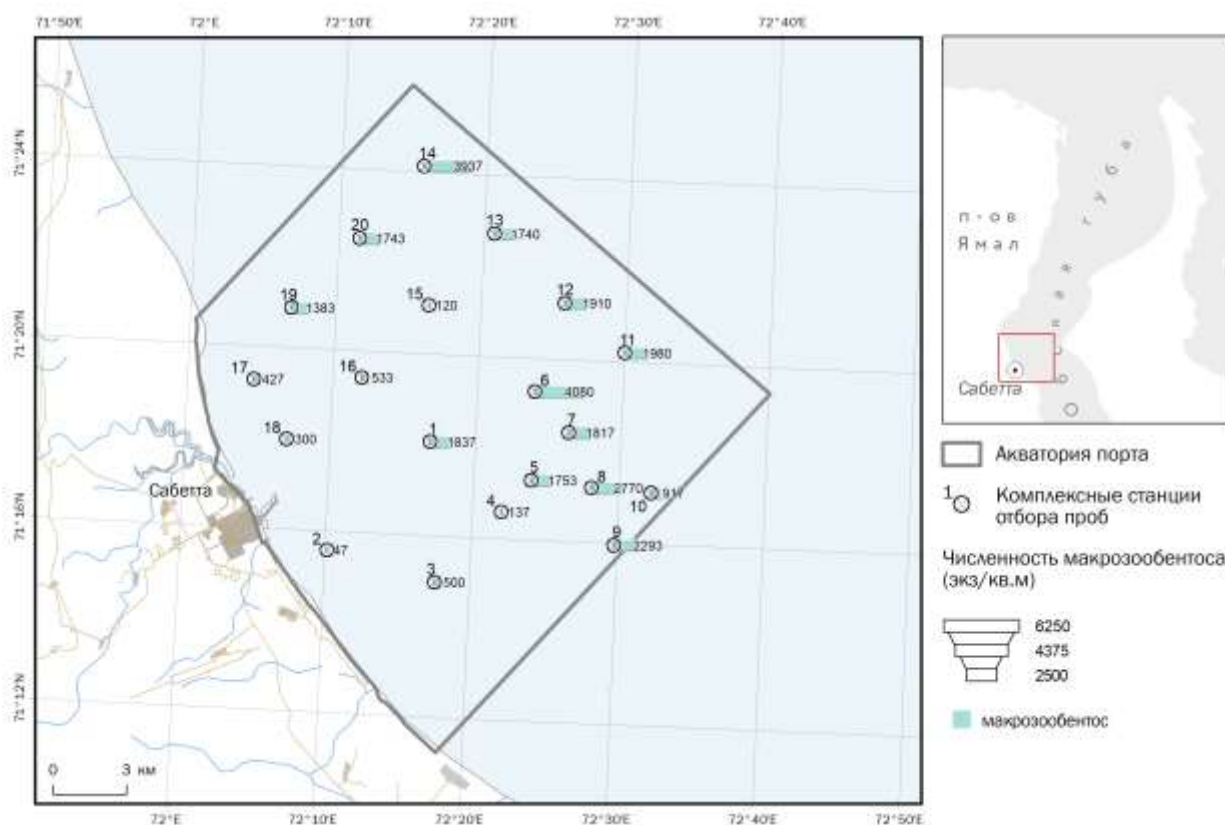
Многощетинковый червь *Marenzelleria arctica*, равноногий рак *Saduria entomon* и олигохеты отмечены на всех 20 станциях, таким образом, они являются наиболее характерными формами для участка.

Количественные показатели развития зообентоса имели достаточно большую пространственную изменчивость. Численность зообентоса на разных станциях изменялась от 47 (станция 2) до 4080 экз./м<sup>2</sup> (станция 6), составляя в среднем 1500±300 экз./м<sup>2</sup> (рис 5.2–26; таблица 5.2-8). Явной связи общей плотности бентоса с географическим положением на участке не выявлено, станции с низкими и высокими значениями рассредоточены по полигону, как и в прошлую съемку.

Таблица 5.2—8 Количественные показатели развития зообентоса на станциях вблизи Сабетты в сентябре 2021 г.

Станция	Число видов	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>
1	5	1837	4,05
2	4	47	0,27
3	4	500	20,17
4	5	137	100,81
5	5	1753	28,16
6	5	4080	47,04
7	4	1817	33,96
8	6	2770	97,22
9	5	2293	114,20
10	5	917	125,68

Станция	Число видов	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>
11	5	1980	296,62
12	4	1910	88,59
13	5	1740	45,30
14	6	3937	99,59
15	4	120	8,45
16	7	533	23,49
17	7	427	34,73
18	4	300	5,56
19	5	1383	27,44
20	6	1743	62,10



**Рис. 5.2 - 26.** Картограмма распределения численности зообентоса в акватории порта Сабетты в сентябре 2021 г.

Наибольший вклад в общую численность вносили полихеты и олигохеты, в особенности *Marenzelleria arctica* (73%; табл. 5.2–9).

Таблица 5.2—9 Численность отдельных таксонов.

Группа	Вид	Численность, экз./м <sup>2</sup>		
		N	±	%
Amphipoda	<i>Amphipoda</i> gen.sp.	1	0	0%
Amphipoda	<i>Monoporeia affinis</i>	2	1	0%
Amphipoda	<i>Pontoporeia femorata</i>	8	3	1%
Isopoda	<i>Saduria entomon</i>	34	7	2%

Nemertea	Nemertea gen. sp.	2	1	0%
Oligochaeta	Oligochaeta g. sp.	331	102	22%
Polychaeta	<i>Ampharete vega</i>	26	12	2%
Polychaeta	<i>Marenzelleria arctica</i>	1108	257	73%

Биомасса зообентоса на разных станциях изменялась от 0,27 г/м<sup>2</sup> (станция 2) до 296 г/м<sup>2</sup> (станция 11), составляя в среднем 63±15 г/м<sup>2</sup> (рис 5.2–27; таблица 5.2–10). Распределение биомассы, как и численности бентоса, было мозаичным, без выраженных трендов. Наибольшие значения отмечались в восточной и в северной части полигона, в соответствии и с данными предыдущей съемки.

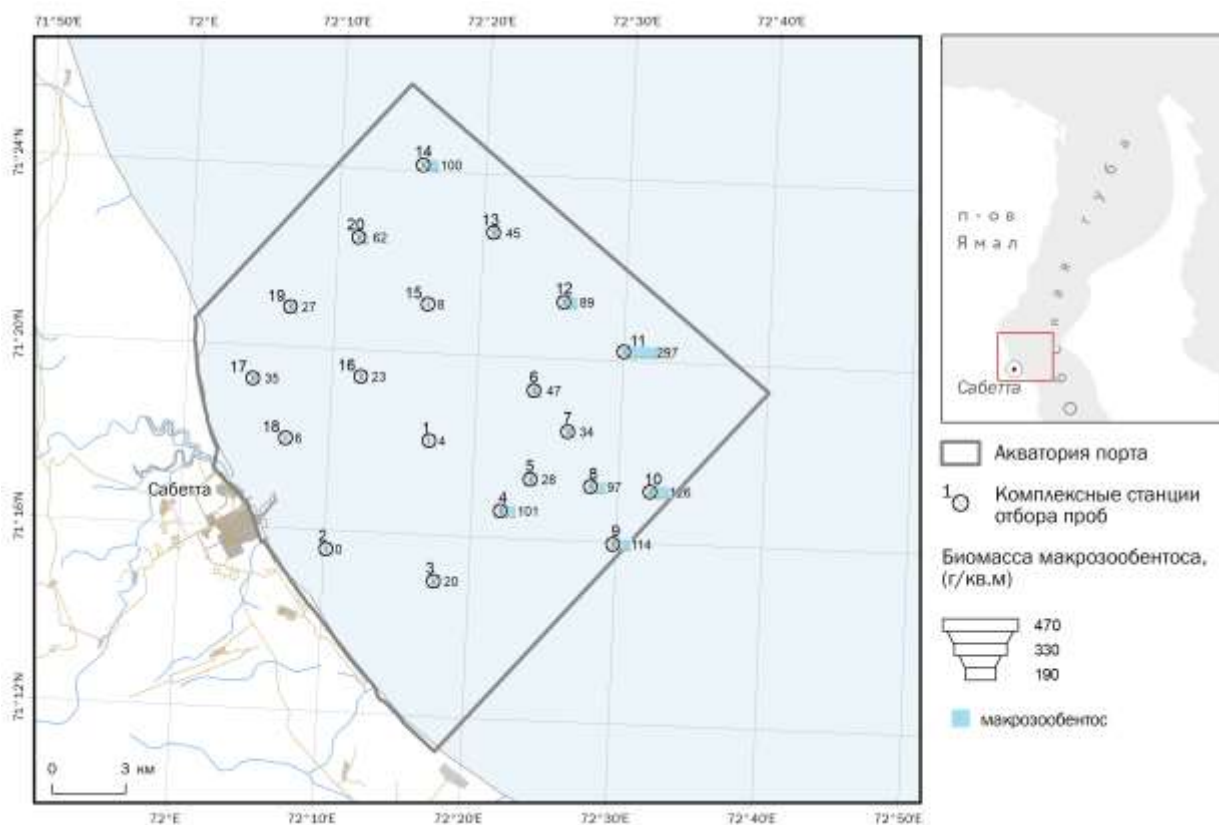


Рис. 5.2 - 27. Картограмма распределения биомассы зообентоса в акватории порта Сабетты в сентябре 2021 г.

По биомассе доминирующей формой оказались равноногие раки *Saduria entomon* (91%), заметен вклад полихет *Marenzelleria arctica*, остальные виды вносили не более 1% в суммарную биомассу бентоса (табл. 5.2.-10).

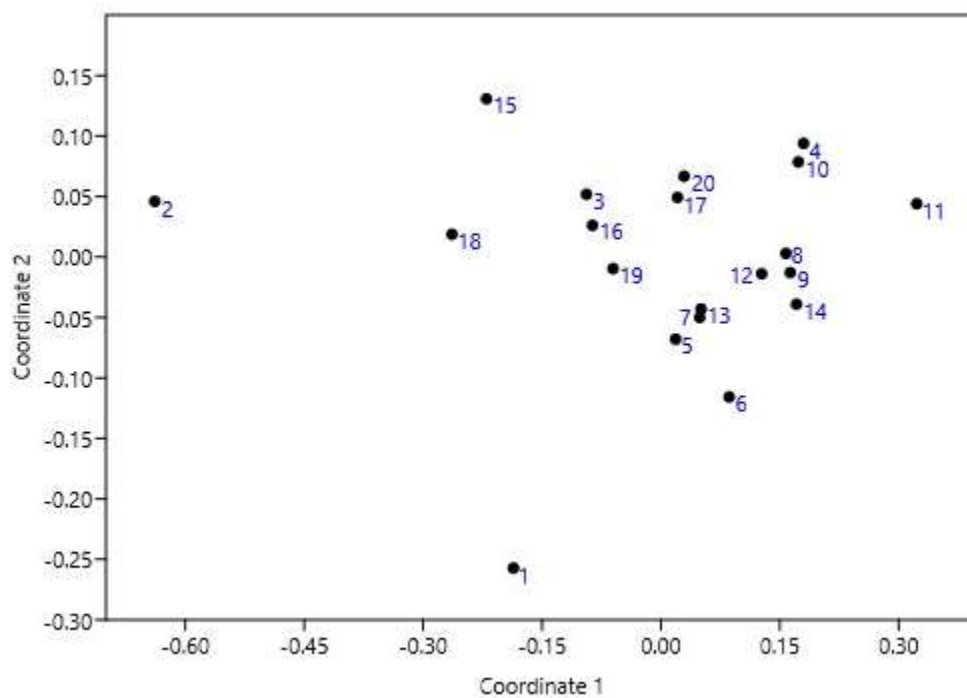
Таблица 5.2—10 Биомасса отдельных таксонов.

Группа	Вид	Биомасса, г/м <sup>2</sup>		
		В	±	%
Amphipoda	Amphipoda gen.sp.	0,002	0,001	0%
Amphipoda	<i>Monoporeia affinis</i>	0,01	0,002	0%

Amphipoda	<i>Pontoporeia femorata</i>	0,10	0,04	0%
Isopoda	<i>Saduria entomon</i>	57,67	15,03	91%
Nemertea	Nemertea gen. sp.	0,02	0,01	0%
Oligochaeta	Oligochaeta g. sp.	0,46	0,13	1%
Polychaeta	<i>Ampharete vega</i>	0,66	0,35	1%
Polychaeta	<i>Marenzelleria arctica</i>	4,26	1,02	7%

### Донные сообщества, выделенные методами статистического анализа

Для сравнения станций между собой использовали показатели дыхания (индекс функционального обилия, ИФО), учитывающие численность и биомассу каждого вида, пропорциональные  $N^{0,25} \cdot B^{0,75}$ . Наибольший вклад вносят равноногий рак *Saduria entomon* (70%) и многощетинковый червь *Marenzelleria arctica* (24%). По результатам ординации методом многомерного шкалирования большинство станций сходны между собой и формируют единое сообщество (рис 5.2–28). Отдельно отстоят станции 1 и 2 в центральной-юго-западной части участка, на которых относительно мало изопод, а преобладающими формами становятся олигохеты, которые также отмечены и на основном массиве станций, в том числе и среди субдоминирующих форм.

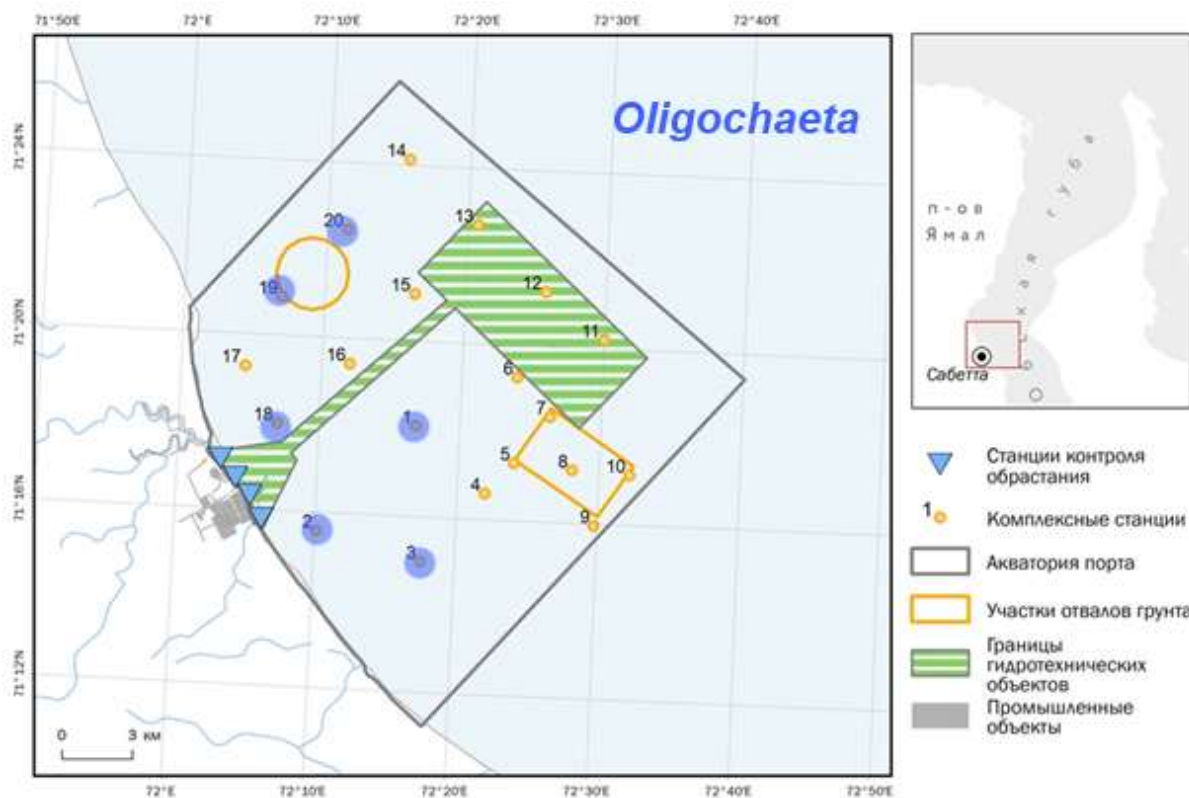


**Рис. 5.2 - 28.**

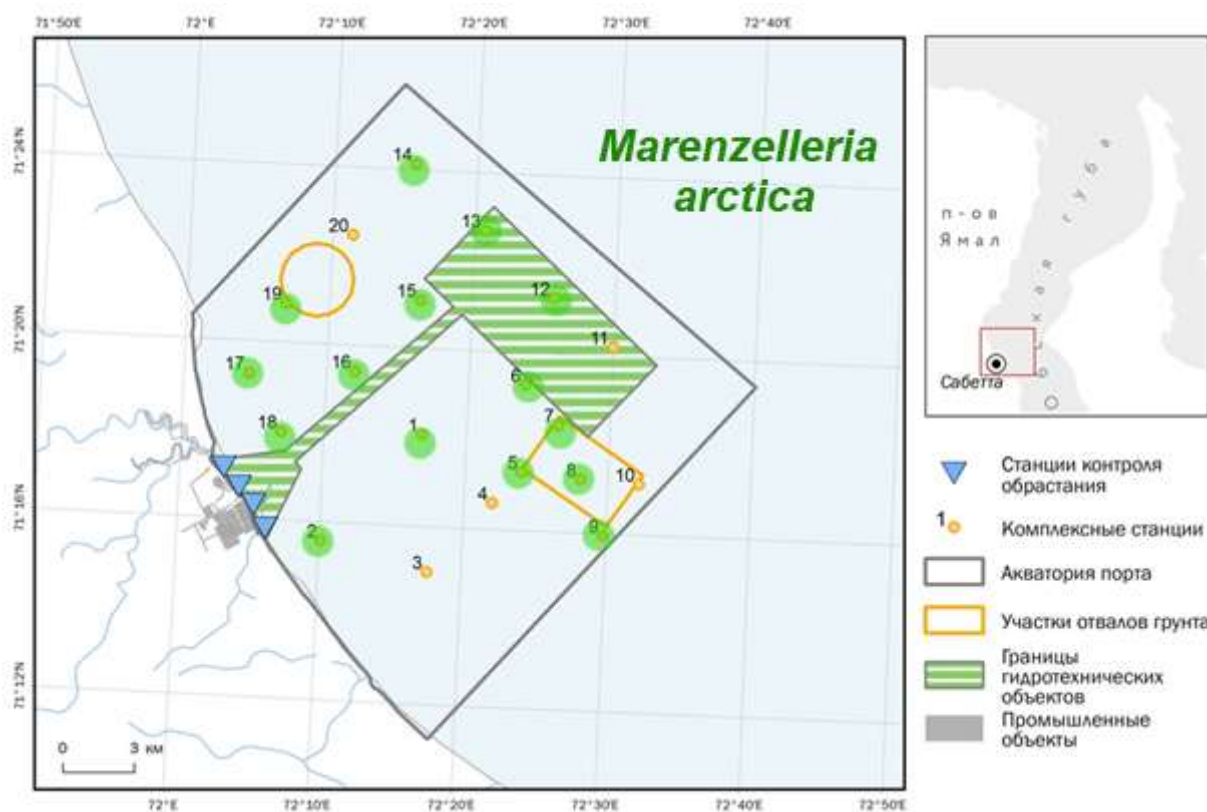
Ординация станций методом многомерного шкалирования. Большая часть станций формирует единое сообщество.

Постанционный анализ доминантов показал, что на большинстве станций преобладают две доминирующие формы (изоподы и полихеты), которые часто встречаются вместе, таким образом, их сообщества плавно перетекают одно в другое. На шести станциях более заметен вклад олигохет (рис 5.2–29- рис 5.2–31), на двух – полихеты *Ampharete vega*.

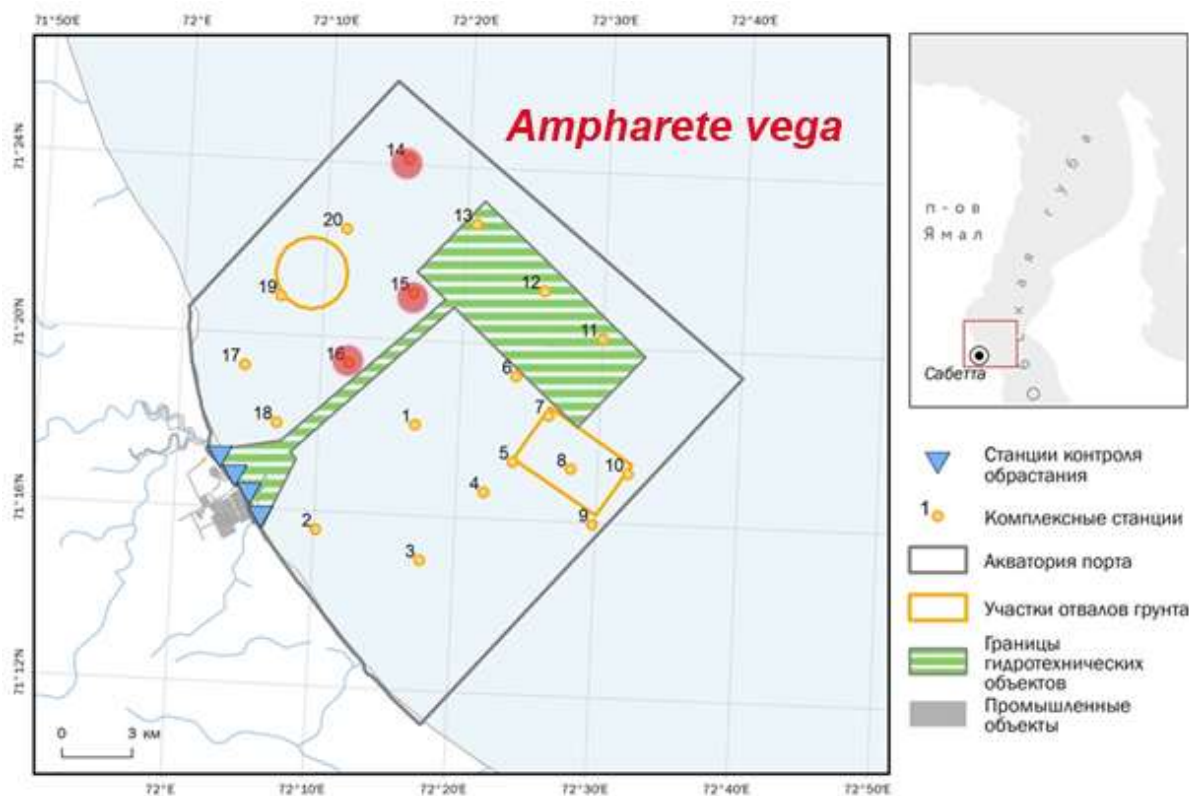




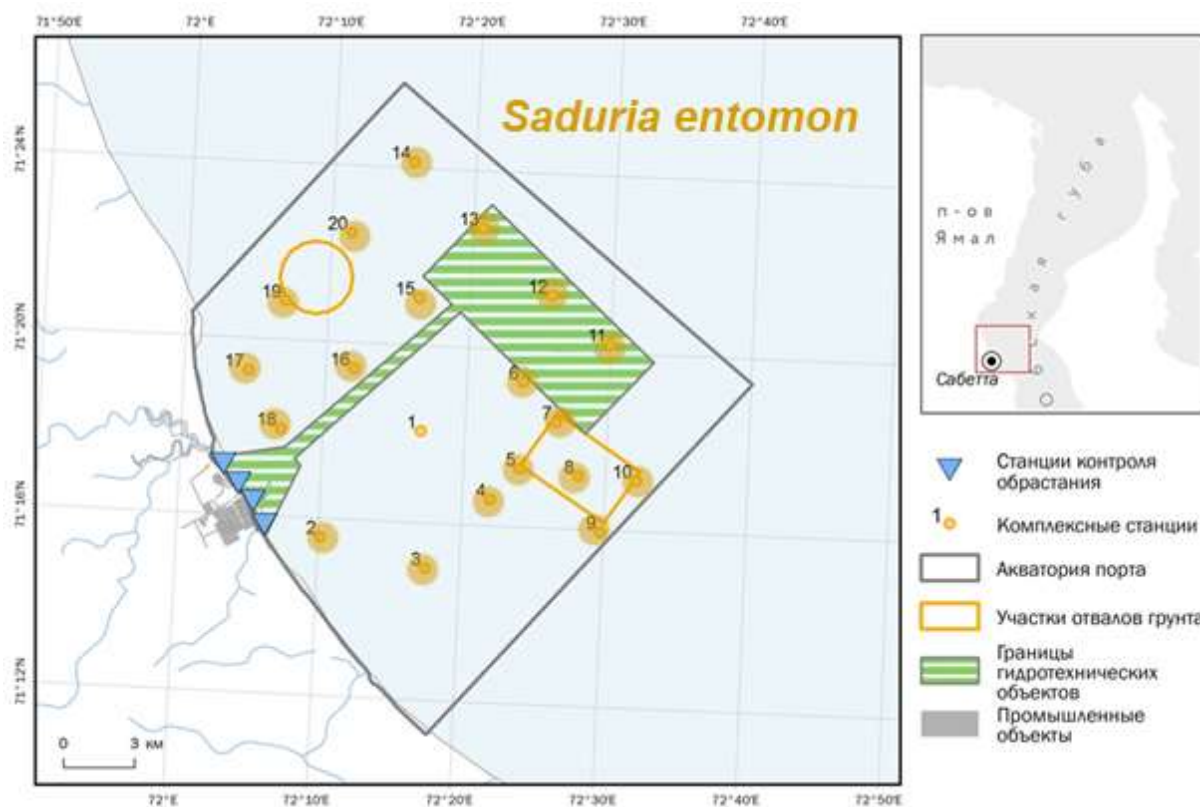
**Рис. 5.2 - 29.** Распределение поселений олигохет на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г.



**Рис. 5.2 - 30.** Распределение поселений полихеты *Marenzelleria arctica* на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г.



**Рис. 5.2 - 31.** Распределение поселений полихеты *Ampharete vega* на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г.



**Рис. 5.2 - 32.** Распределение поселений изоподы *Saduria entomon* на разных станциях в районе Сабетты в сентябре 2021 г.

В целом выделенные сообщества соответствуют отмеченным в предыдущей работе сообществам *Monoporeia*+*Marenzelleria* и *Ampharete*+*Pontoporeia*, но в силу меньшей выборки материала, меньшего охвата площади, а также естественной мозаичности донной фауны на акватории, прямое сопоставление данных затруднено. Бокоплав *Pontoporeia femorata* отмечен на 14 из 20 станциях, но нигде не занимает доминирующей позиции. Участок съемки 2019 г., соответствующий станциям съемки 2021 г., можно охарактеризовать как-то же сообщество полихет рода *Marenzelleria*, существенных различий между данными съемок не выявлено.

Сравнительная характеристика сообществ, выделенных методами статистического анализа. Сообщество равноногих раков *Saduria entomon* и полихет *Marenzelleria arctica* характерно для большей части участка и соответствует приведенной выше характеристике бентоса на участке. Среднее число видов составляет  $5,1 \pm 0,2$  вида на станцию, общая численность бентоса  $1600 \pm 300$  экз./м<sup>2</sup>, средняя биомасса -  $70 \pm 20$  г/м<sup>2</sup>. На всех станциях отмечены два доминирующие вида – *S. entomon* и *M. arctica*, а также олигохеты. 77% общей численности ( $1200 \pm 300$  экз./м<sup>2</sup>) приходится на *M. arctica*, 18% внесли олигохеты ( $290 \pm 90$  экз./м<sup>2</sup>). По биомассе бентоса выражено доминирует *S. entomon* (92%,  $60 \pm 20$  г/м<sup>2</sup>). В целом сообщество соответствует выделенному в 2019 г. для акватории.

Две станции – 1 и 2, расположенные в центральной-юго-западной части участка, – отличаются, отличаются относительно малой плотностью изопод и, соответственно, преобладанием в донной фауне олигохет. На станциях отмечено 4 и видов, численность составила 1800 и 50 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 4,05 и 0,27 г/м<sup>2</sup>. 77% общей численности приходится на олигохет (до 1440 экз./м<sup>2</sup>), 22% - *M. arctica*. 57% биомассы вносят *M. arctica*, 36% - олигохеты.

#### **Сравнение с результатами 2019 г.**

В сравнении с данными 2019 г. съемка значительно более бедная по числу видов, поскольку охватывает меньшую площадь акватории, и число станций также ниже. Наибольшей встречаемостью также обладали бокоплавы и олигохеты, в настоящей съемке на всех станциях отмечены и полихеты, представленные двумя видами, для этой же части акватории в 2019 г. указан только один вид полихет рода *Marenzelleria*.

Средняя суммарная численность зообентоса всей акватории в 2019 г. составила 737 экз./м<sup>2</sup>, повышенное обилие бентоса было отмечено для района пос. Сабетта. Численность по данным 2021 г. была сопоставима -  $1600 \pm 300$  экз./м<sup>2</sup>, и также определялась в основном обилием полихет, как и в предыдущей работе. Для акватории также отмечены относительно высокие плотности олигохет – до 1300 экз./м<sup>2</sup> в 2019 г.,  $300 \pm 100$  экз./м<sup>2</sup> в 2021 г.

Средняя суммарная биомасса зообентоса в 2019 г. составила 26 г/м<sup>2</sup>, варьируя в диапазоне от 0,19 до 192 г/м<sup>2</sup>, в 2021 г. для района Сабетты составила  $63 \pm 15$  г/м<sup>2</sup>, в 2019 г. здесь отмечались пониженные значения против остальной обследованной акватории. Так же основной вклад в биомассу вносили равноногие ракообразные и полихеты.

Выделенное в 2021 г. сообщество *Saduria entomon* - *Marenzelleria arctica* соответствует по составу и количественным характеристикам описанному в 2019 г. Средняя суммарная численность зообентоса в сообществе составила 629 экз./м<sup>2</sup>, варьируя в диапазоне от 17 до 3 080 экз./м<sup>2</sup> и определялась, в основном, обилием полихет. Средняя суммарная биомасса составила 14 г/м<sup>2</sup>, варьируя в диапазоне от 0,2 до 77 г/м<sup>2</sup>. Максимальное значение биомассы

зообентоса (благодаря высокой биомассе полихет и изопод) было зафиксировано как раз в районе исследований 2021 г., когда оно составило те же 70 г/м<sup>2</sup>.

В целом характеристики донной фауны по результатам съемки 2021 г. соответствуют таковым 2019 г., никаких существенных различий не обнаружено.

#### 5.2.4. Зоопланктон

**Видовой состав зоопланктона.** В период исследований зоопланктон на участке акватории Обской губы в окрестностях морского порта Сабетта оказался представлен 26 таксонами. Лидируют по видовому богатству веслоногие ракообразные Copepoda (15 видов) (табл. 5.2–11). Данные показатели близки к представленным в отчете о мониторинге сообществ зоопланктона в августе 2019 г. Встреченные таксоны относятся к пресноводным, солоноватоводным и морским пелагическим и придонным формам.

Видовое разнообразие достаточно высокое для опресненных акваторий Карского моря. Виды-вселенцы, не характерные для исследованного региона и широтной зоны, обнаружены не были. Видовое богатство зоопланктона составляет в среднем 11,75 видов на станцию, варьирует между станциями – от 6 до 16 видов (рис 5.2–33). Это достаточно высокие показатели для бореального и арктического зоопланктона, собранного в подверженных опреснению относительно закрытых акваториях (губах и заливах).

**Таблица. 5.2 - 1.** Видовой состав зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г.

Тип	Класс	Отряд	Вид
Rotifera	Eurotatoria	Ploima	<i>Trichocerca</i> sp.
			<i>Lecane</i> sp.
Crustacea	Copepoda	Calanoida	<i>Calanus finmarchicus</i>
			<i>Pseudocalanus acuspes/minutus</i>
			<i>Limnocalanus macrurus</i>
			<i>Eurytemora affinis</i>
			<i>Eurytemora raboti</i>
			<i>Senecella siberica</i>
			<i>Acartia</i> sp.
			<i>Eudiaptomus</i> sp.
			<i>Hetercope appendiculata</i>
		Cyclopoida	<i>Cyclops strenuus</i>
			<i>Cyclops scutifer</i>
			<i>Cyclops vicinus</i>
			<i>Diacyclops</i> sp.
			<i>Eucyclops</i> sp.
			<i>Mesocyclops leuckartii</i>
	Cladocera	Anomopoda	<i>Daphnia galeata</i>
			<i>Daphnia</i> cf. <i>longispina</i>
			<i>Daphnia cuculata</i>
			<i>Bosmina longirostris</i>
			<i>Limnosida frontosa</i>
	Malacostraca	Amphipoda	<i>Monoporeia affinis</i>

Тип	Класс	Отряд	Вид
		Isopoda	<i>Saduria entomon</i>
		Mysida	<i>Mysis oculata</i>
Ювенильные стадии			
Crustacea	Thecostraca		Cirripedia larvae



**Рис. 5.2 - 33.** Изменчивость видового богатства зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г.

**Численность и биомасса зоопланктона.** Численность и биомасса зоопланктона на исследуемом участке высокие, и при этом сильно варьируют. Численность зоопланктона варьирует от 336 до 2755,4, в среднем 1557,2 экз./м<sup>3</sup>, биомасса от 0,045 до 2,13, в среднем 0,475 г/м<sup>3</sup> (табл. 5.2–11; рис 5.2–34- рис 5.2–35). Пики численности и биомассы совпадают и приходятся на станции № 2, №10 и №15. Доминирование по численности и биомассе хорошо выражено. Строгой закономерности распределения показателей обилия от глубины не выявлено. В августе 2019 г. численность зоопланктона была ниже примерно в 4 раза, а биомасса – в 7 раз. Данный факт, вероятно, обусловлен межгодовой изменчивостью динамики солёности и хода температур.



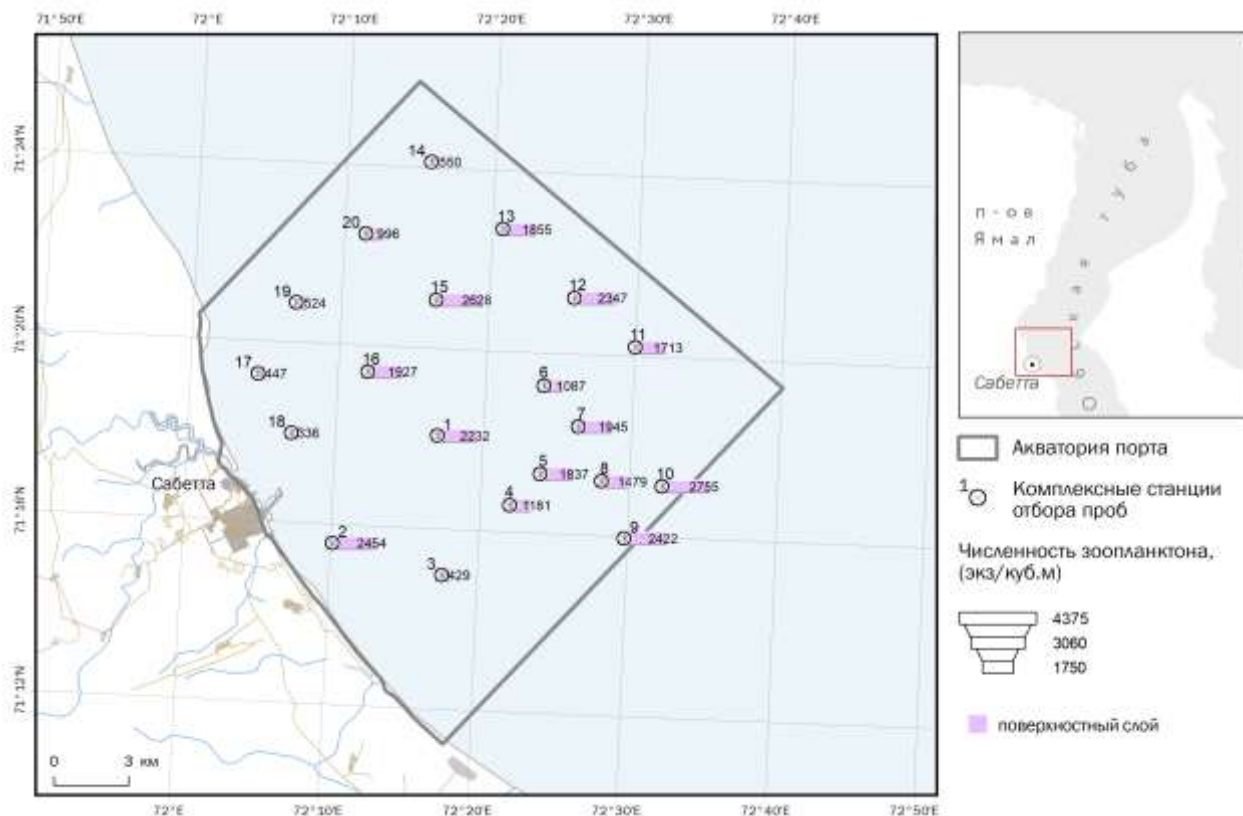
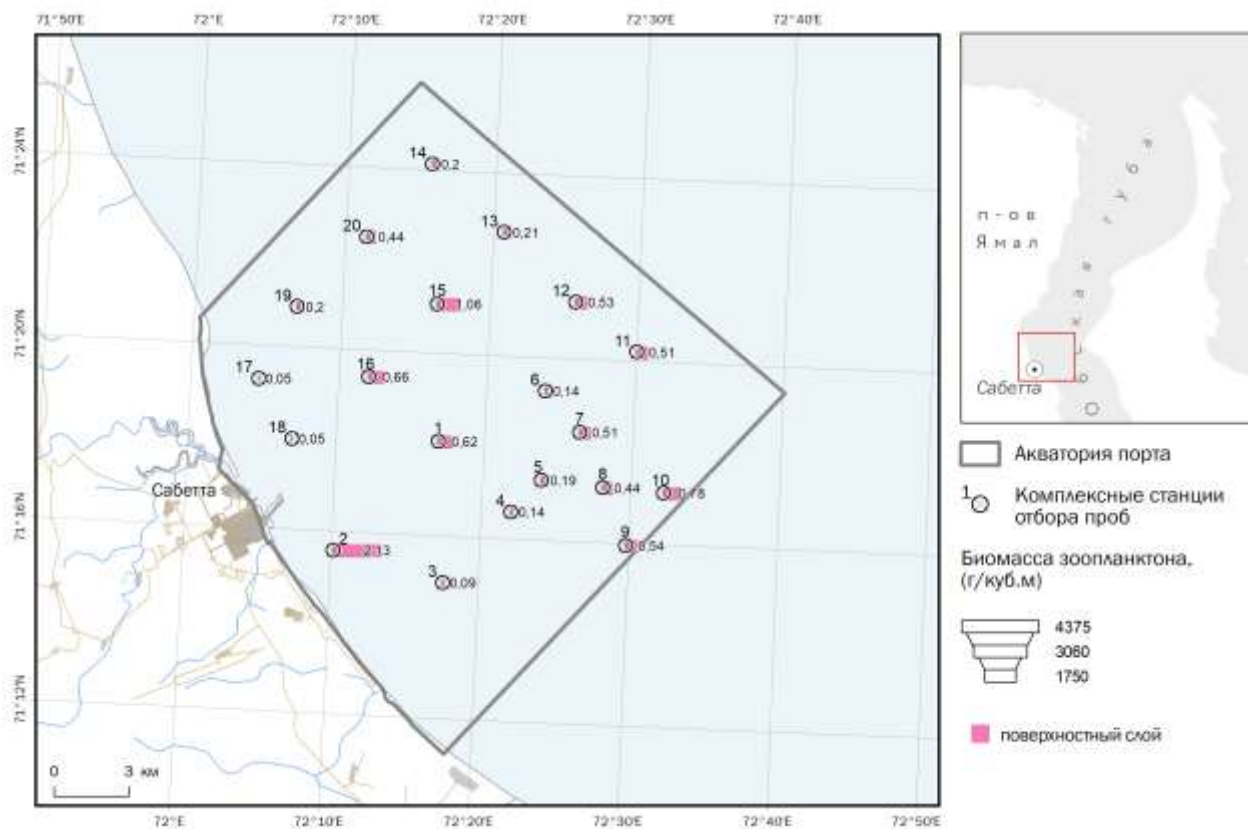


Рис. 5.2 - 34. Изменчивость численности зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г.





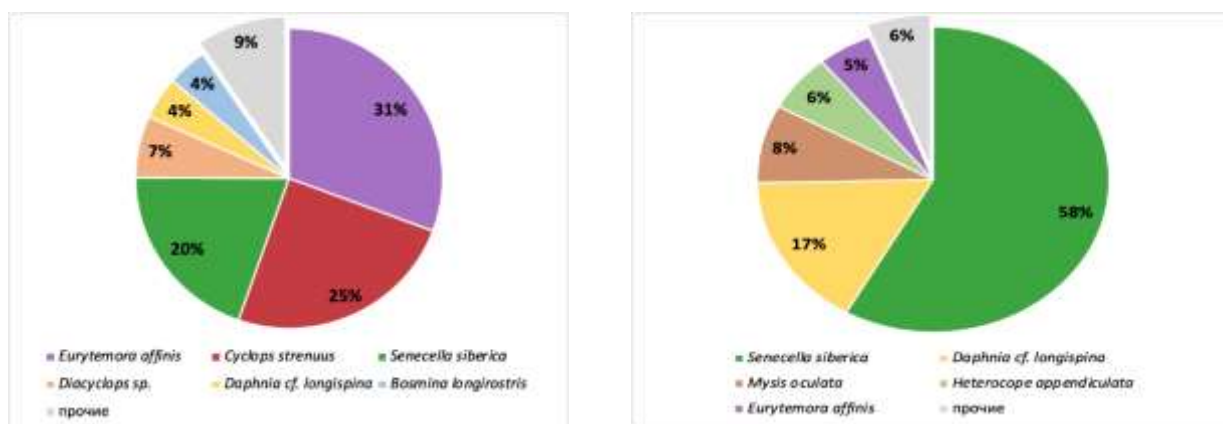
**Рис. 5.2 - 35.**

Изменчивость биомассы зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г.

**Численность и биомасса доминирующих видов.** В комплексе видов-доминантов по численности резко доминировали веслоногие ракообразные *Eurytemora affinis*, *Cyclops strenuus* и *Senecella siberica*. Прочие виды сравнительно более малочисленны (рис 5.2–36 А). Часть этих видов входила в комплекс доминантов и в 2019 г. (*Senecella siberica* и Cyclopoida). Данный факт, вероятно, обусловлен межгодовой изменчивостью динамики солености и хода температур. В частности, большая численность Cladocera в августе 2019 г., по сравнению с сентябрем 2021 г., связана с более высокими температурами воды летних месяцев на фоне осенних. Отсутствие среди доминантов в сентябре 2021 г. солоноватоводных *Limnocalanus grimaldii grimaldii*, *Jaschnovia tolli*, *Drepanopus bungei*, массовых в августе 2019 г., обусловлено понижением солености в осенний период.

Веслоногие ракообразные также доминировали по биомассе. *Senecella siberica* – являлась основным доминантным видом, составляя до 58% обилия в пробах (рис 5.2–36 Б). Этот вид доминировал и в августе 2019 г. Роль других видов относительно невелика. Изменчивость структуры доминирования в межгодовом аспекте была обусловлена изменчивостью солености и хода температур.

Пространственная неоднородность распределения планктонного сообщества умеренна, комплекс доминирующих видов примерно сходен на разных станциях, несмотря на различия в суммарном обилии сообщества.



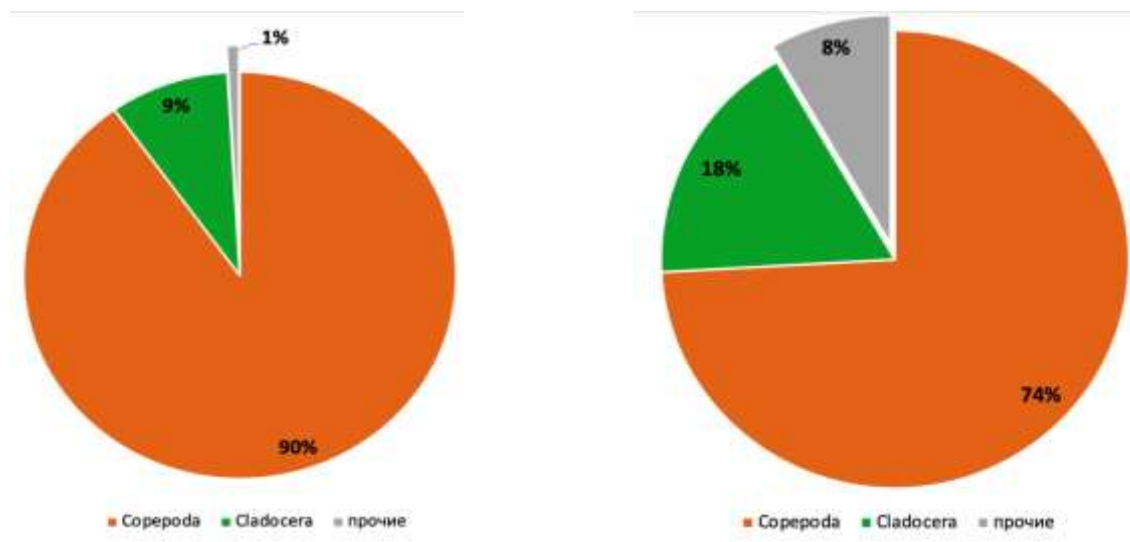
**Рис. 5.2 - 36.**

Доля доминирующих видов в общей численности (А) и биомассе (Б) зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г.

**Численность и биомасса основных систематических групп.** По численности, уверенно доминируют ракообразные представители зоопланктона (Crustacea), среди которых наиболее многочисленны веслоногие ракообразные (п-к. Copepoda) (рис 5.2–37 А). Вклад ветвистоусых ракообразных (п-к. Cladocera) значительно ниже, что характерно для морских и солоноватоводных сообществ зоопланктона. Вклад представителей высших ракообразных (Malacostraca, Crustacea), личинок усоногих ракообразных (Thecostraca, Crustacea) и коловраток (Rotatoria) ничтожно мал по сравнению с ними.

По биомассе основной доминирующей группой также стали веслоногие ракообразные (отр. Copepoda), составив 74% от общего обилия (рис. рис 5.2–37 Б)). Показатели биомассы для

Cladocera, как и численности, значительно уступают таковым для Copepoda. Сходные тенденции отмечены и в августе 2019 г.

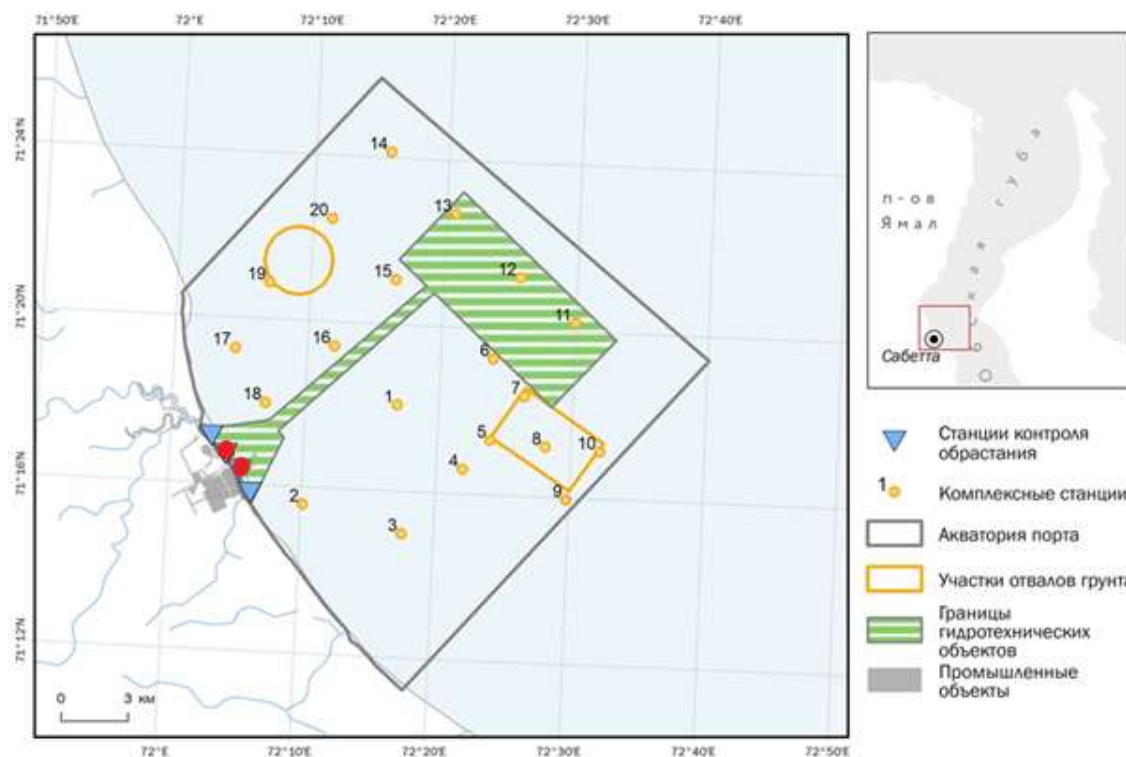


**Рис. 5.2 - 37.** Доля основных таксономических групп в общей численности (А) и биомассе (Б) зоопланктона на участке акватории морского порта Сабетта (Обская губа) в сентябре 2021 г.

### 5.3. Оценка экологического состояния акватории порта Сабетта с точки зрения контроля риска вселения чужеродных видов с балластными водами

#### 5.3.1. Оценка степени обрастания портовых сооружений

В общей сложности, для изученных сообществ, развивавшихся в конце сентября 2021 года на причальных сооружениях в р-не пос. Сабетта (рис. 5.3-1)(**Ошибка! Источник ссылки не найден.**), было отмечено присутствие в живом виде (на момент фиксации пробы) 38 видов и подвидов микрофитов. Все они относились к диатомовым водорослям. При этом в составе совокупной флоры присутствовали 3 вида, адаптированные преимущественно к развитию в открытой эпипелагиали (центрические диатомеи из состава фитопланктона), 1 бенто-планктонный вид и 34 вида, имеющие комплекс адаптаций для жизни на поверхности грунта (в подвижном или же прикреплённом состояниях). В сообществах присутствовали представители 7-ми экологических групп. Наиболее богато были представлены бентические подвижные формы (18 видов и подвидов, или 47,37% от всей флоры), за ними следовали эпилитно-эпифитные колониальные формы с радиальной структурой, обладающие общим полимерным матриксом (10, или 26,32%) и эпифитные формы, образующие колонии в виде пучков клеток на общем полимерном основании (5, или 13,16%).



Суммарное число видов всех экологических групп (**S total**) различалось для изученных локаций. Так, в точке отбора “Jetty 1” были отмечены 37 видов и подвигов, а в точке “Jetty 2” – 32. Общий список видов с обозначением их присутствия или отсутствия в изученных локациях приведён в таблице 5.3–1.

Таблица 5.3—1 Видовой состав сообщества микроводорослей -обрастателей причальных сооружений в районе п. Сабетта в конце сентября 2021 года.

№	Экологическая группа	Виды и подвины	Jetty 1	Jetty 2
1	Бентический, подвижный	<i>Caloneis amphibaena</i>	+	-
2	Бентический, подвижный	<i>Diploneis boldtiana</i>	+	-
3	Бентический, подвижный	<i>Encyonema minutum</i>	+	+
4	Бентический, подвижный	<i>Encyonema silesiacum</i>	+	+
5	Бентический, подвижный	<i>Navicula gregaria</i>	+	+
6	Бентический, подвижный	<i>Navicula rhyncocephala</i>	+	+
7	Бентический, подвижный	<i>Navicula streckeriae</i>	+	+
8	Бентический, подвижный	<i>Navicula witkowskii</i>	+	+
9	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia biacrula</i>	+	+
10	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia cf. recta</i>	+	+
11	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia cf. incognita</i>	+	+
12	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia dissipata</i>	+	+
13	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia dissipata</i> var. <i>media</i>	+	+
14	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia invisitata</i>	+	-
15	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia linearis</i> var. <i>subtilis</i>	+	+
16	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia palea</i>	+	+
17	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia perminuta</i>	-	+

18	Бентический, подвижный	<i>Nitzschia plioveterana</i>	+	-
19	Бенто-планктонный	<i>Ulnaria acus</i>	+	+
20	Планктонный, колонии-цепочки	<i>Aulacoseira crenulata</i>	+	+
21	Планктонный, колонии-цепочки	<i>Aulacoseira subarctica</i>	+	+
22	Планктонный, колонии-цепочки	<i>Melosira linearis</i>	+	+
23	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonella olivacea</i>	+	+
24	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonema clavatum</i>	+	+
25	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonema minutum</i>	+	+
26	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonema parvulum</i>	+	+
27	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonema pumilum</i>	+	+
28	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonema saprophilum</i>	+	+
29	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonema sarcophagus</i>	+	+
30	Эпилитно-эпифитный, радиальные колонии, полимерный матрикс	<i>Gomphonema subclavatum</i>	+	+
31	Эпилитный, трубчатые колонии	<i>Berkeleya rutilans</i>	+	-
32	Эпилитный, трубчатые колонии	<i>Navicula sp.</i>	+	+
33	Эпифит, колонии-цепочки	<i>Diatoma moniliformis</i>	+	+
34	Эпифит, колонии-пучки	<i>Ctenophora pulchella</i>	+	-
35	Эпифит, колонии-пучки	<i>Hyalosynedra laevigata</i>	+	+
36	Эпифит, колонии-пучки	<i>Synedra cf. laevis</i>	+	+
37	Эпифит, колонии-пучки	<i>Ulnaria ulna</i>	+	+
38	Эпифит, колонии-пучки	<i>Tabularia fasciculata</i>	+	+

Соотношение представителей разных экологических групп в составе **S total** в локациях было очень сходно (таблица 5.3–2). В обоих случаях по числу видов преобладали подвижные бентические формы родов *Navicula* и *Nitzschia*, а также *Gomphonema* строившие свои ветвистые колонии на поверхности как твёрдых, так и биополимерных субстратов.

Таблица 5.3—2 Представленность различных экологических групп диатомей в локациях отбора проб.

Локация отбора пробы	Jetty 1		Jetty 2	
	Число видов	% от S total	Число видов	% от S total
Бентические подвижные	17	45.95	14	43.75
Бенто-планктонные	1	2.70	1	3.13
Планктонные, колонии-цепочки	3	8.11	3	9.38
Эпилитно-эпифитные, радиальные колонии, полимерный матрикс	8	21.62	8	25.00
Эпилитные, трубчатые колонии	2	5.41	1	3.13
Эпифитные, колонии-цепочки	1	2.70	1	3.13
Эпифитные, колонии-пучки	5	13.51	4	12.50

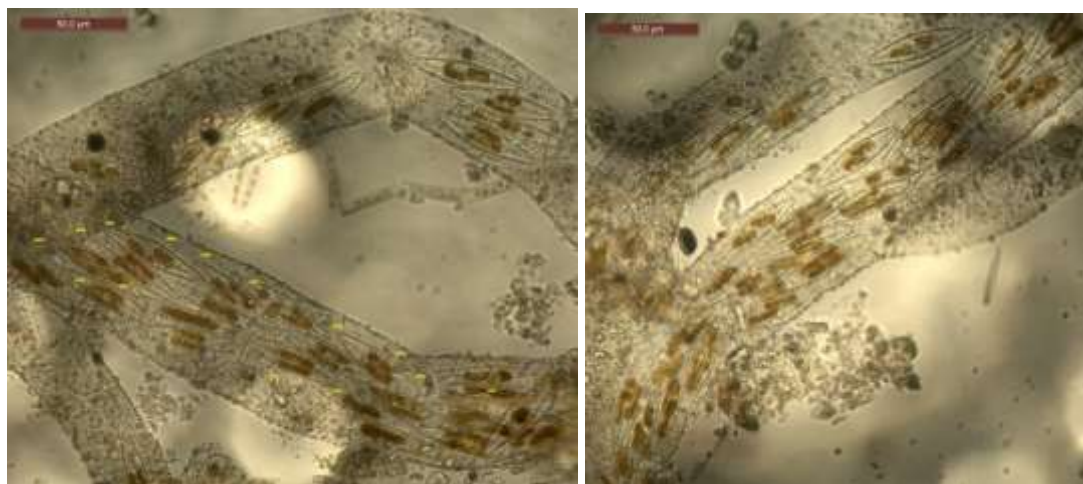


Рис. 5.3 - 2. Фрагменты трубчатых колоний *Navicula* sp.

Структура доминирования, рассчитанная с применением величины потенциальной продуктивности каждого из видов в составе сообществ, была сходной для локаций в части доминантов и особо массовых видов. В обоих случаях группу руководящих видов формировали три вида: *Navicula* sp. (Рис. 5.3-2), *Navicula streckeriae* – крупный подвижный вид, клетки которого автономно перемещаются в лабиринтах обрастаний, и *Tabularia fasciculata* – крупная бесшовная диатомея, образующая колонии в виде радиальных пучков длинных клеток на поверхности полимерных матриксов и трубок колоний других диатомей.

При этом в плане численности клеток первым доминантом в сообществах была бесшовная диатомея *Diatoma moniliformis* – её зигзагообразные, многократно разветвлённые цепочки поднимались над зарослями других колоний на высоту до нескольких миллиметров, формируя своеобразный рыхлый слой верхнего яруса обрастаний. Вклад этого вида в общую численность составлял 13,58–16,84%. Вторым доминантом в обеих локациях была подвижная диатомея *Nitzschia* cf. *incognita* (12,47–14,33%) – её многочисленные клетки свободно перемещались по лабиринтам обрастаний. Доли этих видов от потенциальной продуктивности ценозов составляли 4,74–7,42% и 2,54–3,68%.

Необходимо особо отметить структурообразующую роль видов рода *Gomphonema*: их древовидно-ветвящиеся колонии, выстраиваемые на основе разрастания общего полимерного матрикса по мере деления клеток, формировали средний ярус сообществ, развиваясь как на твёрдом субстрате причалов, покрытом тонкими бактериальными плёнками, так и на трубках колоний *Navicula* sp.. Общий вклад эпилитно-эпифитных видов из родов *Gomphonema* и *Gomphonella* составлял в локациях 23,93–23,97% от суммарной потенциальной продуктивности – и 29,96–32,44% от общей численности. Среди них особо массовыми (по численности) были *Gomphonema saprophilum* (10,9–11,6%) и *Gomphonella olivacea* (9,85–10,18%). Вклады этих видов в суммарную потенциальную продуктивность ценозов составляли, соответственно, 6,19–8,32% и 6,57–8,02%.

В составе фоновых групп, формирующих облик сообществ исходя из вкладов видов в общую потенциальную продуктивность, превышающих 1% (доминанты, особо массовые и массовые, часто встречающиеся), в локациях “Jetty 1” было 14 таксонов, а в локациях “Jetty 2” – 15. Эти группы характеризовались высокой степенью сходства состава.



Численность и биомасса микрофитов по экологическим группам, а также суммарные значения этих показателей по сообществам локаций приведены в таблице 5.3-3.

Таблица 5.3-3 Интегральные показатели обилия экологических групп видов, а также суммарные по сообществам для разных локаций.

Локация	Jetty 1		Jetty 2	
Экологическая группа	Численность, тыс.кл./м <sup>2</sup>	Биомасса, мг/м <sup>2</sup>	Численность, тыс.кл./м <sup>2</sup>	Биомасса, мг/м <sup>2</sup>
Бентические подвижные	12405.9	100.091	14060.6	154.644
Бенто-планктонные	528.9	23.982	216.6	9.821
Планктонные, колонии-цепочки	802.7	0.401	603.7	0.304
Эпилитно-эпифитные, радиальные колонии, полимерный матрикс	17124.6	85.457	16351.1	125.541
Эпилитные, трубчатые колонии	4838.8	83.557	5162.3	104.573
Эпифитные, колонии-цепочки	8892.6	21.817	7411.4	18.183
Эпифитные, колонии-пучки	8191.7	132.198	10777.3	195.845
<b>Общая для микрофитного ценоза локаций</b>	<b>52785.2</b>	<b>447.502</b>	<b>54583.0</b>	<b>608.911</b>

Разнообразие сообществ согласно мере Маргалефа (**Dmg**) и индексу Шеннона (**H'**), а также значения выравнинности их видовой структуры согласно индексам Пилоу (**J'**) и вероятности межвидовых встреч (**PIE**) приведены в таблице 5.3–4.

Таблица 5.3—3 Показатели разнообразия и выравнинности видовой структуры сообществ в разных локациях.

Локация	<b>Dmg</b>	<b>J'</b>	<b>H'</b>	<b>PIE</b>
Jetty 1	5.010	0.717	2.590	0.904
Jetty 2	4.160	0.695	2.410	0.882

Значения **Dmg** были на высоком уровне в обеих локациях, значения **H'** - на среднем уровне, **J'** - в обоих случаях была низкой, а **PIE** – средневысокой. В целом все показатели были выше для сообщества локаций “Jetty 1”.

#### Сравнение с результатами анализа 2019 года

По имеющимся данным, на август 2019 года в составе микрофитобентоса исследуемого района было отмечено 48 видов микроводорослей, принадлежащих к следующим 4-м таксономическим группам высоких рангов: *Ochrophyta (Bacillariophyceae)* - 39 видов, *Cyanobacteria* – 1 вид, *Chlorophyta* – 2 вида, и *Euglenophyta* - 6 видов. При этом 18 из них описываются в литературе как морские, а остальные 30 – как пресноводные и эвригалинные.

В составе общей микрофитной флоры присутствовали 17 видов-индикаторов различных степеней органического загрязнения, из них 23% видов были индикаторами отсутствия органического загрязнения, доля индикаторов низкой степени загрязнения составила 18% от общего числа видов-индикаторов; доля видов-индикаторов средней степени органического загрязнения ( $\beta$ -мезосапробов) составила 59%.



Сообщество обрастания причальных сооружений в районе п. Сабетта на тот период было сформировано диатомовыми видами – обрастателями, свободноживущими диатомеями мягких грунтов и фитопланктонными видами. Видовой состав и количественные показатели развития комплекса обрастания соответствует сезонной стадии развития бентосных микроводорослей и фитопланктона Карского моря. В составе сообщества не выявлено чужеродных видов – вселенцев.

В конце сентября 2021 года общий список микрофитов обрастаний причальных сооружений порта Сабетта включал 38 видов, и все они относились к таксономической группе *Ochrophyta* (класс *Bacillariophyceae*). Среди них был отмечен только один морской вид (*Nitzschia linearis* var. *subtilis*), все остальные относились к числу пресноводных и широко эвригалинных.

На основании смены картины видового состава по сравнению с предыдущими наблюдениями, мы можем заключить, что в августе 2019 года имел место осолоняющий заток морских вод из более северных районов, что привело к осолонению приповерхностных вод до той степени, при которой в обрастаниях смогли развиваться 18 видов морских микрофитов. В то время как в конце сентября 2021 года условия для развития микрофитоперифитона были практически пресноводными.

Среди общего числа видов, отмеченных в пробах 2021 года, 27 были индикаторами различных степеней органического загрязнения. Из них 6 (22,22%) были индикаторами отсутствия органического загрязнения, 8 (29,63%) - индикаторами средне-низкой степени загрязнения, 5 (18,52%) – средней степени, ещё 6 (22,22%) - средневысокой и 2 (7,41%) - высокой степени загрязнения. Во флористическом плане преобладали индикаторы средне-низкой степени загрязнения. Используя индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека, мы получили его значение для точки отбора Jetty 1, равное 1,82, и для точки Jetty 2 - равное 1,97. В обоих случаях значения индекса соответствовали β-мезосапробной зоне (3 классу качества воды). Для сравнения, в августе 2019 года значение этого индекса в точке отбора материала составляло 1,34, что соответствовало 2 классу качества воды, или чистой (олигосапробной зоне).

Общая численность микрофитов в обрастаниях составляла в 2019 г. 149721,6 тыс.кл./м<sup>2</sup>, а биомасса – 1036,88 мг/м<sup>2</sup>. На точках отбора в 2021 году оба показателя были ниже: средняя численность – в 2,79 раза, а средняя биомасса – в 1,96.

По результатам анализа фитоперифитона в 2019 и 2021 г. не было выявлено потенциально-инвазивных видов.

### 5.3.2. ДНК-исследования балластных вод на предмет видов-вселенцев

На этапе камеральной обработки проб была отобрана одна проба балластных вод, анализ которой находится в процессе выполнения. Идентификация таксономического состава сообщества из образцов балластных вод будет производиться путем амплификации и высокопроизводительного секвенирования последовательностей маркерных генов-баркодов (16S для прокариот, и 18S для большинства эукариот). После выполненных исследований будет составлена база последовательностей ДНК всех типов организмов, и проведено сравнение с видовыми списками организмов, полученных в ходе комплексного мониторинга.

### 5.3.3. Фитопланктон

На данный момент, ни одного инвазивного вида микроводорослей в планктонных сообществах исследованной акватории Обской губы в 2021 г. не зарегистрировано

### 5.3.4. Зоопланктон

На данный момент из планктонных беспозвоночных, входящих в списки опасных инвазионных видов России и всемирную базу данных опасных инвазивных видов, отмечено шесть таксонов, которые могут быть перенесены с балластными водами судов в Обскую губу. К ним относятся: *Cercopagis pengoi*, *Mnemiopsis leidy*, *Phyllorhiza punctata*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *Acartia tonsa* и *Oitona davisae*. Ни одного из указанных видов водных беспозвоночных в планктонных сообществах обследованной части Обской губы в 2021 г. не зарегистрировано. Все виды зоопланктона, обнаруженные на акватории порта Сабетта, являются типичными для данного региона, и относятся к пресноводным, солоноватоводным и морским пелагическим и придонным таксонам опресненных районов юго-западной части Карского моря.

### 5.3.5. Ихтиопланктон

Ни одного из видов ихтиофауны отмеченных в перечне опасных инвазионных видов в Обской губе и зоне действия «Ямал СПГ» как в 2021 г., так и в предыдущие годы зарегистрировано не было. Несмотря на отсутствие нежелательных вселенцев в составе аборигенной ихтиофауны бассейна Карского моря, риски их появления сохраняются, требуется продолжение мониторинга.

### 5.3.6. Макрозообентос

Согласно указанной базе данных, в балластных водах и на корпусах судов в виде обрастаний в Обскую губу может быть занесен 31 вид донных беспозвоночных (Таблица 1.6—2.)

Ни одного из указанных видов беспозвоночных животных-вселенцев в донных сообществах Обской губы в 2021 г. не зарегистрировано. Можно полагать, на данный момент предпринятые меры по минимизации риска вселения чужеродных видов, в частности, смена судами балластных вод на значительном расстоянии от порта Сабетта являются надежным средством предотвращения проникновения сюда инвазивных видов. Кроме того, суровые арктические условия также являются значимым естественным барьером проникновения в Обскую губу обитателей умеренных и тропических областей.

#### 5.4. Рекомендации соответствующих мер для управления рисками вселения чужеродных видов с судовыми балластными водами.

Важным элементом природоохранной политики является не только определение путей вселения и минимизация экологических последствий, вызываемых интродукцией, а также разработка эффективных стратегий для контроля над вселенцами. Прежде всего, это разработка методов профилактики, раннего выявления и искоренения инвазивных видов.

Наибольшую угрозу акватории морей и эстуарий при ведении хозяйственной деятельности представляет водяной балласт необходимый для безопасной и эффективной эксплуатации современного судна. С балластными водами из одного региона в другой переносится тысячи инвазивных чужеродных видов, которые могут успешно выживать и приспосабливаться к новым условиям, что представляет серьёзную экологическую проблему. Одним из примеров конструктивного решения экологических трудностей них является «Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими (Международная конвенция., 2004).

Согласно конвенции, каждое судно должно вести журнал балластных вод, в котором необходимо отмечать, среди прочего, место забора балластной воды в судно, факт замены балластной воды и место совершения замены. Основная цель данной конвенции состоит в уменьшении интродукции чужеродных видов через судовые балластные танки (Международная конвенция., 2004).

В соответствии с Руководством по контролю водяного балласта судов и управлению им для сведения к минимуму переноса вредных водных и патогенных организмов, морские участки для смены балластных вод должны быть отобраны таким образом, чтобы смена балластных вод на этих участках наносила наименьший вред местной экосистеме (ИМО А.868(20), 1997).

Обычно балластные танки заполняются водой в портах. Во взятой на акватории порта воде большинство видов приспособлено к жизни в прибрежных водах, в которых солёность воды обычно невысокая. Если организмы прибрежных вод будут выпущены с балластными водами в открытом море, то вследствие того, что воды открытого моря более солёные, прибрежные виды, скорее всего, здесь погибнут. Таким образом, они не смогут стать существенной угрозой для местной экосистемы.

Для нейтрализации балластных вод небольших судов могут быть предложены различные возможности - нагрев воды, фильтрация, озонирование, обработка химикатами, ультрафиолетовым излучением или ультразвуком, обогащение воды азотом, в результате чего присутствующие в ней живые организмы погибают из-за возникшей нехватки кислорода, и многие другие возможности, но пока нет универсального метода, который был бы применим ко всем судам.

В подавляющем большинстве случаев минимизация воздействия инвазий как подавление и искоренение уже натурализовавшихся вселенцев – самый сложный и наиболее затратный метод. Эффективное влияние на вселенцев, как правило, достигается за счет использования целого ряда комплексных методов (механические, химические и биологические средства контроля, а также контроль и регулирование мест обитания) разрабатываемых конкретно к виду вселенцу.

В качестве мер по предотвращению распространения инвазионных видов необходимо осуществлять регулярные работы по контролю за выявлением видов и их численности с целью предотвращения возможных вспышек или массового распространения инвазийных видов. Повсеместное проведение комплексных морских научных исследований районов, подвергающихся или ранее подвергавшихся распространению инвазионных видов посредством сброса балластных вод, а также проведение мониторинга состояния морской природной среды также является эффективным, хотя и трудозатратным, инструментом предотвращения биологических инвазий.

### **Макробентос**

В обычной практике мониторинговых наблюдений порядок выполнения исследований зообентоса определяется требованиями действующих методических документов научно-исследовательских организаций Росрыболовства (Богоров, 1947; Блинова и др., 2005). В пробах зообентоса анализируются видовой состав, численность и биомасса каждого вида и каждой таксономической группы, общая численность и биомасса.

Недостаток карт, построенных только на основании биологических данных, состоит в том, что эти данные нельзя экстраполировать на близлежащие области, не зная характеристик грунтов этих областей. Наиболее качественная и обширная карта сообществ могла быть получена в результате интегрирования данных по бентосным сообществам с данными съёмок ГЛБО и батиметрической съёмки. Для района исследований большое значение могут иметь еще и данные о придонной солености в районе работ.

## Заключение

Камерально-аналитические работы по договору № 770/21-ЯСПГ от «2» июля 2021 г. между ООО «ЦМИ МГУ» и ОАО «Ямал СПГ» «Мониторинг состояния гидробиоценозов акватории морского порта Сабетта для раннего обнаружения и предотвращения вселения опасных чужеродных видов в 2021–2023 годах», в соответствии с Техническим заданием, выполнены в 2021 г. в полном объеме. Результаты свидетельствуют о том, что значения исследованных показателей находились в основном в пределах амплитуды многолетних и сезонных колебаний и сопоставимы с имеющимися фондовыми данными и результатами предыдущих исследований. По результатам оценки экологического состояния акватории порта Сабетта с точки зрения контроля риска вселения чужеродных видов с балластными водами инвазивных видов выявлено не было.

Ниже представлены краткие характеристики различных параметров окружающей среды.

### Донные отложения

Поверхностные осадки в районе исследования преимущественно представлены различными типами алевритов: песчаными, песчано-глинистыми, глинисто-песчаными. Также встречаются пески – алевритовые и глинисто-алевритовые. Грубообломочный материал отсутствует на всех станциях пробоотбора.

Содержание органического углерода составило в среднем 1,3%. Полученные данные согласуются с фондовыми. Влажность грунтов составила 42,2–55% (в среднем 49,54%). Плотность грунта составила 1,61–1,89 г/см<sup>3</sup> (в среднем 1,75 г/см<sup>3</sup>). Плотность сухого грунта изменялась от 1,05 до 1,30 г/см<sup>3</sup>, составляя в среднем 1,17 г/см<sup>3</sup>.

Концентрации нефтепродуктов и бенз(а)пирена не достигали нижних пределов диапазонов измерений используемый методик (<0,005 мг/г и <0,0000012 г/кг соответственно). Концентрации элементов в донных отложениях по результатам лабораторных исследований составили в среднем: кадмий - 0,09 мг/кг; медь – 7,78 мг/кг; мышьяк – 4,35 мг/кг; никель - 11,59 мг/кг; ртуть – 0,018 мг/кг; свинец – 5,97 мг/кг; хром – 9,81 мг/кг; цинк – 21,13 мг/кг.

По результатам пересчетов полученных концентраций тяжелых металлов, мышьяка и нефтепродуктов на стандартный образец в соответствии с нормативными документами (Warner, van Dokkum, 2002; Нормы и критерии..., 1996) превышения не зафиксированы.

### Фитопланктон

Общая численность ФП по всей исследованной акватории изменялась от 36,50 млн. кл./м<sup>3</sup> до 602,00 млн. кл./м<sup>3</sup>, составляя в среднем по трем горизонтам 164,47 млн. кл./м<sup>3</sup>. В поверхностном горизонте средняя численность ФП была 116,44 млн. кл./м<sup>3</sup>, промежуточном – 137,83 млн. кл./м<sup>3</sup>, придонном – 239,15 млн. кл./м<sup>3</sup>.

Общая биомасса ФП изменялась от 26,13 мг/м<sup>3</sup> до 303,70 мг/м<sup>3</sup>, составляя в среднем по трем горизонтам 94,75 мг/м<sup>3</sup>. В поверхностном горизонте средняя биомасса ФП была 62,62 мг/м<sup>3</sup>, промежуточном – 91,85 мг/м<sup>3</sup>, придонном – 129,78 мг/м<sup>3</sup>.

Абсолютным доминантом по количественным показателям на всех горизонтах и станциях исследования была центрическая диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata*. Значительный вклад в численность фитопланктонных сообществ на ряде станций вносили также центрические диатомеи рода *Cyclotella*, цианобактерии и некоторые представители отдела Chlorophyta.

В основе биомассы лежали представители отдела Bacillariophyta, однако в промежуточном слое среди доминант также встречались зеленые водоросли.

Согласно фитогеографической и экологической характеристикам, большинство идентифицированных микроводорослей являлись космополитами – 79,7 %. Виды арктического происхождения составляли 11,6 % планктонной альгофлоры, на долю бореальных видов приходилось 5,8 %, аркто-бореальных и атлантических видов – по 1,4 %. Среди всех зарегистрированных водорослей 50,4 % являлись пресноводными. На долю морских видов приходилось 21,3 %, солоноватоводных – 28,4 %.

### **Хлорофилл «А»**

У поверхности концентрация хлорофилла А составляла  $0,70-7,12 \text{ мг/м}^3$  ( $2,22 \pm 0,33 \text{ мг/м}^3$ ), в промежуточном слое  $0,83-4,50 \text{ мг/м}^3$  ( $2,06 \pm 0,23 \text{ мг/м}^3$ ), у дна  $1,42-8,49 \text{ мг/м}^3$  ( $3,2 \pm 0,43 \text{ мг/м}^3$ ). Пространственное распределение хлорофилла А было выражено мозаичным, при этом очаги повышенного содержания не имели чёткой пространственной приуроченности и зафиксированы как в районах гидротехнических объектов (ст. 2, 6, 16, 18), так и в районах свала грунтов (ст. 5, 8, 19). Большая часть хлорофилла А была сосредоточена за пределами ЭФЗ (76-95%), что связано с малой мощностью фотического слоя. Интегральная ПП фитопланктона в ЭФЗ варьировала от 14,6 до 99,3  $\text{мгС/м}^2$  в сут., в среднем составляя  $40,48 \pm 4,72 \text{ мгС/м}^2$  в сут. Максимальные значения отмечены в центральной части прибрежной и центральной областей. Полученные в 2021 г. результаты согласуются с данными литературы и предыдущих работ и позволяют охарактеризовать состояние экосистемы как естественное, критических изменений не выявлено.

**Зоопланктон.** В сентябре 2021 г. зоопланктон на участке акватории Обской губы в окрестностях морского порта Сабетта был представлен 26 таксонами. Лидируют по видовому богатству веслоногие ракообразные *Copepoda* (15 видов). Встреченные таксоны относятся к пресноводным, солоноватоводным и морским пелагическим и придонным формам. Видовое разнообразие высокое.

Численность и биомасса зоопланктона на исследуемом участке довольно высоки, и при этом сильно варьируют между станциями. Численность зоопланктона варьирует от 336 до 2755,4, в среднем 1557,2 экз./м<sup>3</sup>, биомасса от 0,045 до 2,13, в среднем 0,475 г/м<sup>3</sup>. По численности, как и по биомассе уверенно доминируют веслоногие ракообразные (*Copepoda*), составляя 90% и 74% от общего обилия соответственно.

В комплексе видов-доминантов по численности резко доминировали веслоногие ракообразные *Eurytemora affinis*, *Cyclops strenuus* и *Senecella siberica*.

В целом, проведенные исследования не выявили изменений сообщества зоопланктона, связанных с антропогенным воздействием. Инвазивные виды, не характерные для исследованного региона и широтной зоны, обнаружены не были. Полученные данные можно считать фоновыми, характеризующими пелагические сообщества Обской губы в осенний период.

### **Ихтиопланктон**

В районе подходного канала и в районе морского подводного отвала грунта порта Сабетта в сентябре 2021 г. ихтиопланктонных инвазионных видов в пробах не отмечено.

**Макрозообентос.** В сентябре 2021 г. в Обской губе в районе пос. Сабетта собран материал с 20 станций в диапазоне глубин от 7,4 до 20,1 м. Зообентос был представлен 8 таксономическими единицами. Число видов на станциях колебалось от 4 до 7 и в среднем составило  $5,1 \pm 0,2$  видов. Численность зообентоса на разных станциях изменялась от 47 до 4080



экз./м<sup>2</sup>, составляя в среднем  $1500 \pm 300$  экз./м<sup>2</sup>. Явной связи общей плотности бентоса с географическим положением на участке не выявлено, станции с низкими и высокими значениями рассредоточены по полигону, как и в съёмку 2019 г.

Биомасса зообентоса на разных станциях изменялась от 0,27 г/м<sup>2</sup> до 296 г/м<sup>2</sup>, составляя в среднем  $63 \pm 15$  г/м<sup>2</sup>. Распределение биомассы, как и численности бентоса, было мозаичным, без выраженных трендов. Наибольшие значения отмечались в восточной и в северной части полигона, в соответствии и с данными предыдущей съёмки.

По биомассе доминирующей формой оказались равноногие раки *Saduria entomon* (91%), заметен вклад полихет *Marenzelleria arctica*, остальные виды вносили не более 1% в суммарную биомассу бентоса.

Сообщество равноногих раков *Saduria entomon* и полихет *Marenzelleria arctica* характерно для большей части участка. Среднее число видов составляет  $5,1 \pm 0,2$  вида на станцию, общая численность бентоса  $1600 \pm 300$  экз./м<sup>2</sup>, средняя биомасса -  $70 \pm 20$  г/м<sup>2</sup>. На всех станциях отмечены два доминирующие вида – *S. entomon* и *M. arctica*, а также олигохеты. 77% общей численности ( $1200 \pm 300$  экз./м<sup>2</sup>) приходится на *M. arctica*, 18% внесли олигохеты ( $290 \pm 90$  экз./м<sup>2</sup>). По биомассе бентоса выражено доминирует *S. entomon* (92%,  $60 \pm 20$  г/м<sup>2</sup>). В целом сообщество соответствует выделенному в 2019 г. для акватории.

В сравнении с данными 2019 г. съёмка значительно более бедная по числу видов, поскольку охватывает меньшую площадь акватории, и число станций также ниже. Наибольшей встречаемостью также обладали бокоплавы и олигохеты, в настоящей съёмке на всех станциях отмечены и полихеты, представленные двумя видами, для этой же части акватории в 2019 г. указан только один вид полихет рода *Marenzelleria*. В целом характеристики донной фауны по результатам съёмки 2021 г. соответствуют таковым 2019 г., никаких существенных различий не обнаружено.

## 6. Техника безопасности и охрана окружающей среды

Работы по выполнению мониторинга экологического состояния Обской губы в зоне влияния Проекта «Ямал СПГ» сопряжены с повышенным риском.

Факторами риска при работах являются:

- Погрузочно-разгрузочные операции при мобилизации и демобилизации;
- Перенос тяжелых грузов;
- Неравномерный режим дня, вызывающий недосыпание;
- Работы на открытой палубе судна в т.ч. у борта;
- Операции по спуску-подъему оборудования с использованием лебедок и грузоподъемных механизмов;
- Работа с пробоотборниками (дночерпатели, сети, батометры);
- Работа с водой при промывке проб;
- Работа с агрессивными химическими веществами;
- Работы в условиях пониженных температур;
- Работы в условиях сильного солнечного излучения;
- Работы в темное время суток.

Экспедиционная группа будет участвовать в процедурах, проводимых на судне, выполняющим работы в целях обеспечения максимальной безопасности экспедиции и соблюдения правил ОТ и ПБ:

- Вводный инструктаж всех вновь прибывших на судно;
- Ознакомительный экскурс по судну со всеми лицами, пребывавшими на судно;
- Учения «По оставлению судна»;
- Ежемесячные собрания экипажа (комитета по безопасности) по вопросам охраны здоровья, безопасности и защиты окружающей среды и качества;
- Ежемесячные обязательные проведения учебных тревог в условиях, приближенных к реальным:
  - ✓ По борьбе с пожаром
  - ✓ По оставлению судна
  - ✓ Человек за бортом
- Перед началом любой операции, представляющей потенциальную угрозу безопасности судна или здоровью членов экипажа, проводится инструктаж по применению безопасных методов работ;
- Любой вид деятельности анализируется на предмет его безопасности для персонала и окружающей среды.

### Средства индивидуальной защиты

Проводя какие-либо работы во время стоянки в порту необходимо использовать индивидуальные средства защиты и выполнять требования ПТБ и ОТ (Рисунок 5.3.6.1, Таблица 7.1—1).

- Запрещается передвижение в обуви с не фиксируемой пяткой.

- При передвижении по открытым палубам, производственной палубе надлежит находиться в защитной каске и одежде со свет возвращающими элементами.
- При проведении спускоподъемных работ на производственной палубе члены экипажа должны использовать как минимум следующие средства индивидуальной защиты:
  - ✓ Защитная каска,
  - ✓ Рабочий спасательный жилет,
  - ✓ Свет возвращающие элементы на одежде,
  - ✓ Обувь с ударопрочным подноском,
  - ✓ Рабочие перчатки,
  - ✓ При проведении работ с интенсивным потоком воды необходимо использовать водозащитный костюм и перчатки.
  - ✓ При работе с агрессивными химическими веществами необходимо использовать устойчивые к химическому воздействию перчатки и защитные очки.



**Рис. 6.1 - 1.**

Рисунок 5.3.6.1 – Сотрудник ООО «ЦМИ МГУ», выполняющий работы в полном комплекте СИЗ

Таблица 7.1—1– Пути к нейтрализации основных угроз при выполнении работ

Риски	Пути избегания рисков
Погрузочно-разгрузочные операции при мобилизации и демобилизации экспедиции	Постоянное применение СИЗ, перемещение с максимальной осторожностью. Нахождение вдали от работающих механизмов или максимально осторожное поведение при нахождении и работах вблизи от них.
Перенос тяжелых грузов	Перенос тяжелых грузов достаточным числом людей, осторожность. Ношение СИЗ (обувь с ударопрочным подноском, перчатки и другие СИЗ).

Риски	Пути избегания рисков
Работы на открытой палубе судна в т.ч. у борта	Постоянное ношение СИЗ, постоянное удерживание «на трех опорных точках» (рука + ноги, нога + руки). Максимально внимательные и осторожные перемещения. Направление движения – только вперед (прежде чем двигаться в другую сторону полностью развернуться туда). Смотреть под ноги и осматриваться. Работа группами не менее, чем два человека. В случае работы у открытого борта использование монтажных поясов и страховочных строп.
Операции по спуску-подъему оборудования с использованием лебедок и грузоподъемных механизмов	Постоянное ношение СИЗ. Максимально внимательные и осторожные перемещения и действия. Сопровождение всех действий четкими голосовыми сигналами. Проверка работоспособности и безопасности пробоотборника перед каждым пуском. Внимательно отношение к мелким деталям, могущим вызвать зажатие или затягивание конечностей и(или) одежды. Отсутствие украшений и выступающих из под СИЗ волос. Работа группами не менее, чем два человека.
Работа с буксируемым оборудованием	Постоянное ношение СИЗ. Максимально внимательные и осторожные перемещения и действия. Сопровождение всех действий четкими голосовыми сигналами. Проверка работоспособности и безопасности оборудования перед каждым пуском. Контроль расположения оборудования за бортом судна. Внимательно отношение к мелким деталям, могущим вызвать зажатие или затягивание конечностей и(или) одежды. Отсутствие украшений и выступающих из-под СИЗ волос. Работа группами не менее, чем два человека.
Работа с оборудованием, прикрепленным к штанге	Постоянное ношение СИЗ. Максимально внимательные и осторожные перемещения и действия. Сопровождение всех действий четкими голосовыми сигналами. Проверка работоспособности и безопасности оборудования перед каждым пуском. Проверка целостности штанги перед и началом работ и после их окончания. Внимательно отношение к мелким деталям, могущим вызвать зажатие или затягивание конечностей и(или) одежды. Работа группами не менее, чем два человека.

Риски	Пути избегания рисков
Работа с пробоотборниками	Постоянное ношение СИЗ. Максимально внимательные и осторожные перемещения и действия. Сопровождение всех действий четкими голосовыми сигналами. Проверка работоспособности и безопасности пробоотборника перед каждым пуском. Внимательно отношение к мелким деталям, могущим вызвать зажатие или затягивание конечностей и(или) одежды. Отсутствие украшений и выступающих из-под СИЗ волос. Работа группами не менее, чем два человека.
Работа с водой	Постоянное ношение СИЗ, кроме того, в случае холодной погоды, ношение водозащитного костюма и сапог, исключающих промокание одежды, ношение плотных водостойких перчаток.
Работа с агрессивными химическими веществами	Постоянное ношение СИЗ. К обязательным СИЗ должны быть добавлены стойкие к химическим воздействиям перчатки и очки. Работы должны проводиться в хорошо проветриваемом помещении или на палубе (при соблюдении всех мер снижения рисков при нахождении на палубе).
Работы в условиях пониженных температур	Постоянное ношение СИЗ. Кроме основного комплекта СИЗ, должны использоваться теплые ветрозащитные элементы одежды: термобелье, термоноски, утепленные куртки, комбинезоны, шапки, перчатки, балаклавы.
Работы в условиях прямого солнечного излучения	Защита головы от прямого солнечного излучения с помощью каски или головного убора (в случаях, когда каска не нужна). Использование солнцезащитных средств на открытых участках тела. Использование одежды минимизирующей открытые участки тела (но не допускающей перегрева). При необходимости использование солнцезащитных очков.

### **Мероприятия по охране окружающей среды**

Общие организационные мероприятия по снижению и предотвращению негативного воздействия на окружающую среду в ходе выполнения работ предусматривают строгое выполнение требований российского и международного законодательства, а именно:

- Федерального закона № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды»;
- Федерального закона № 155-ФЗ от 31.07.1998 г. «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации»;
- Федерального закона № 187-ФЗ от 30.11.1995 г. «О континентальном шельфе Российской Федерации»;
- Водного кодекса Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ;
- Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78).

Основополагающим документом в области защиты морской среды является национальное законодательство, в случае если оно выдвигает более жесткие требования к охране окружающей среды, чем конвенция МАРПОЛ-73/78 с Протоколом 1978 г. и Приложениями. Международная конвенция МАРПОЛ-73/78 является обязательной для всех государств-членов Международной морской организации.

В ходе выполнения работ на акватории предусматриваются следующие мероприятия по предотвращению загрязнения акватории нефтепродуктами, льяльными и сточными водами, а также мусором.

- При выполнении работ на судне в судовых документах ведется учет нефтяных операций, накопленного мусора, накопленных льяльных и сточных вод.
- Сбор и хранение бытовых отходов осуществляется в танках на специально оборудованных местах.
- Для сбора хранения сточных вод на судне предусматриваются соответствующие системы и сборные цистерны (танки).
- В ходе выполнения работ, скапливающиеся на судне нефтесодержащие льяльные воды и нефтяные остатки, хранятся в специальных танках.

При выполнении работ ООО «ЦМИ МГУ» руководствуется Политикой в области охраны здоровья и безопасности труда, качества и экологической политикой в соответствии с требованиями российских и международных стандартов.



## Список литературы

- Abramova E., Tuschling K. A. 2005. 12-year study of the seasonal and interannual dynamics of mesozooplankton in the Laptev Sea: significance of salinity regime and life cycle patterns // *Glob. Planet. Change*. V. 48. P. 141–164.
- Arar, E. J., Collins G. B. Method 445.0 In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence / U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997.
- Dale S., Savinov V., Matishov G., Evensen A., Naes K. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Kara Sea shelf, Gulf of Ob and Yenisei Bay. *The Science of Total Environment*, 306, 2003. P. 57-71.
- Denisenko S., Sandler H., Denisenko N., Rachor E. 1999. Current state of zoobenthos in two estuarine bays of the Barents and Kara Seas // *ICES Journal of Marine Science*. Vol. 56. - P. 187-193.
- Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods. 2016. Электронный ресурс (<http://copepodes.obs-banyuls.fr/en/>).
- Fernandes M. B., Sicre M.-A. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Arctic: Ob and Yenisei estuaries and Kara Sea shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48, 1999. P. 725-737.
- Foy R.H. A comparison of chlorophyll a and carotenoid concentrations as indicators of algal volume // *Freshwater Biol.* 1987. 17, №2. P. 237–250.
- Frost B.W. *A taxonomy of the marine calanoid copepod genus Pseudocalanus* // *Canadian Journal of Zoology*. 1989. V. 67. 3. P. 525-551.
- Hirche H.-J., Kosobokova K.N., Gaye-Haake B., Harms I., Meon B., Nothig E.-M. Structure and function of contemporary food webs on Arctic shelves: a panarctic comparison the pelagic system of the Kara Sea – communities and components of carbon flow // *Progress in Oceanography*. 2006. V. 71. P. 288-313.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holmes, R.W., and Strickland, J.D.H. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *Conseil International pour l'Exploration de la Mer, Journal du Conseil*, 301: 3–15.
- Jorgensen L.L., Pearson T.H., Anisimova N.A. et al. 1999. Environmental influences on benthic associations of the Kara Sea (Arctic, Russia) // *Polar Biology*. Vol. 22. - P. 395-416.
- Kosobokova K.N., Hanssen H., Hirche H.J., Knickmeier K., 1998. Composition and distribution of zooplankton in the Laptev Sea and adjacent Nansen Basin during summer 1993 // *Polar Biol.* 1998. V. 19.
- Lafflamme R., Hites R. 1978. The global distribution of PAH in recent sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 42, pp. 289-303.
- List of species of free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters // *Explorations of the fauna of the seas*. 51 (59). St.-Petersburg, 2001.
- Luschka, S., Knickmeier, K. and Hagen, W. (2001) Mesozooplankton assemblages in the shallow Arctic Laptev Sea in summer 1993 and autumn 1995. *Polar Biol.*, 24, 186–199.
- Patriate, VV, Sirenko, B.I., Kulikov, A.A., Novozhilov, A. V, Rachot, E., Piepenburg. D. & Schmid, MK (1999): Macrobenthos distribution in the Laptev Sea in relation to hydrology// *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 169-180.

Pavlov V.K., Pfirman S.L.. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: implications for pollutant distribution // *Deep-Sea Research*. 1995. II 42 (6) P. 1369-1390.

Remane A. 1934. Die Brackwasserfauna // *Verhandl. Der Deutschen Zoolog. Gesellschaft*. - P. 34-74.

Ryther J. H., Yentsch C. S. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. - *Limnol. And Oceanogr.*, 1957, vol 2, N 3, 281 - 286.

Ryther, J. G., 1956. Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. *Limnol. Oceanogr.* 1, 61–70

Vinogradov M.E., Vinogradov G.M., Nikolaeva G.G., Khoroshilov V.S. Mesoplankton of the western Kara Sea and the Baidara Bay // *Oceanology*. 1995. V. 34 (5). P. 709-715.

Vollenweider R.A. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. IBP, Handbook. 1969. №12. 213 p.

Warmer H., van Dokkum R. 2002. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001. Lelystad, RIZA: 77 p.

Yentsch, 1965. The relationship between chlorophyll and photosynthetic carbon production with reference to the measurement of decomposition products of chloroplastic pigments, p. 323–346. In C. R. Goldman [ed.], *Primary Productivity in aquatic environments*. 1965, vol. 18, p. 323-346.

Yunker M.B. and Macdonald R.W. Composition and Origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Mackenzie River and on the Beaufort Sea Shelf. *Arctic*, 1995, vol. 48, № 2, pp. 118-129.

Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchel R.H., Goyette D., Sylvestre S. (2002) PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Org. Geochemistry*, 33, P.489-515.

Антипова Т. В., Семенов В. Н. 1989. Состав и распределение бентоса юго-западных районов типично морских вод Карского моря // *Экология и биоресурсы Карского моря*. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. - С. 127–137.

Артемьев В. А. Геохимия органического вещества в системе река-море. М. Наука. 1993. 204 с.

Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики. — М.: WWF России, 2011. — 64 с.: ил.

Атлас загрязнения природной среды акваторий и побережья морей Российской Арктики / Под ред. С. А. Мельникова, А.Н. Горшкова. СПб: Региональный центр «Мониторинг Арктики» (Росгидромет); Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 1999.

Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Администрация Ямало-Ненецкого автономного округа, г. Салехард. Тюменский государственный университет, Тюмень — Омск. ФГУП «Омская картографическая фабрика». 2004. 303 с.

Берсенева Г.П., Крупаткина Д.К. Особенности распределения пигментов фитопланктона в восточной части Черного моря в ранний летний период // *Экология моря*. 1990. Вып.35. С. 1–6.

Бродский К.А. Веслоногие рачки Calanoida дальневосточных морей СССР и полярного бассейна. М.-Л.: АН СССР. 1950. 442 с.

Ведерников В. И., Демидов А. Б., Судьбин А. И. 1994. Первичная продукция и хлорофилл в Карском море в сентябре 1993 г. // *Океанология*. Т. 34. № 5. С. 693–703

Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Биологические барьеры в эстуариях побережья Российской Арктики // Материалы симпозиума (Беломорск, апрель 2001 г.). М.: ВНИРО, 2000. С. 22–27.

Виноградова К. Л. Распространение водорослей-макрофитов в арктических морях России // Новости систематики низших растений. – 1999. – Т. 33. – С. 14–24.

Возжинская В.Б., Блинова Е.И. Морские макрофиты и растительные ресурсы океана. – Основы биологической продуктивности и ее использование. – М.: Наука, 1971. – С. 137–171.

Гаевская Н.С. (ред.) Определитель фауны и флоры северных морей СССР. 1948. М.: Советская Наука. 740 С.

Гаевский Н.А., Семенова Л.А., Матковский А.К. Трофический статус вод экосистемы Обско-Тазовской устьевой области по показателям фитопланктона // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2010. – № 10. – С. 170–179.

Галкин С. В. 1998. Исследования макробентоса Карского моря в 49-м рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» // Бентос высокоширотных районов. М.: ИО РАН. - С. 34–41.

Галкин С. В., Кучерук Н.В., Минин К. В., Райский А.К., Горославская Е.И. 2010. Макробентос эстуарной зоны реки Обь и прилежащих районов Карского моря // Океанология, Т. 50. № 5. - С. 837–841.

ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.

ГОСТ 23740-2016. Грунты. Методы определения содержания органических веществ.

ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация.

ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

Зенкевич Л. А. Избранные труды. М.: Наука, 1977. – Т. 1: Биология северных и южных морей СССР. – 340 с.

Зинова А.Д. Состав и фитогеографическое деление арктической водорослевой флоры // Гидробиология и биогеография шельфов холодных и умеренных вод Мирового океана. / Под ред. А.И. Голикова. – Л.: “Наука”, 1974. – С. 12–13.

Ильин Г.В. 2018. Гидрологический режим Обской губы как новой области морского природопользования в Российской Арктике // Наука юга России. Т.14. №2. С. 20–32

Инструкция по организации и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000, (Роскомнедра), М., 1995.

Иоффе Ц.И. Донная фауна Обь-Иртышского Бассейна и ее рыбохозяйственное значение // Изв. ВНИОРХ. 1947. Т. 25, вып. 1. С. 123–133.

Итоговый отчет о результатах комплексного мониторинга экологического состояния Обской губы в зоне влияния Проекта ««Ямал СПГ»». Книга 1. Пояснительная записка, 2020.

Итоговый отчет о результатах комплексного мониторинга экологического состояния Обской губы в зоне влияния Проекта Ямал СПГ. ООО «ФРЭКОМ». Москва, 2020. 385 с.

Итоговый отчет о результатах комплексного мониторинга экологического состояния Обской губы в зоне влияния Проекта Ямал СПГ». Книга 1. Пояснительная записка. Москва, 2020.

Камалов А.М., С.А. Огородов А.М., Бирюков В.Ю., Совершаева Г.Д., Цвечинский А.С. Архипов В.В, Белова Н.Г., Носков А.И., В.И. Соломатин А.И. Морфолитодинамика берегов и

дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами. // Криосфера Земли, 2006, т. X, №3. С. 3-14.

Кобелев В.О., Печкин А.С., Красненко Ф.С., Печкина Ю.А., Кирилов Я.А., Аллаяров З.И. Содержание токсикантов в поверхностных водах и донных отложениях южной части Обской губы. Научн. Вестник ЯНАО, изд-во «Научный центр Арктики (Салехард), № 1 (94), 2017, с. 31-37.

Козловский В.В. Макрозообентос верхнего шельфа юго-западной части Карского моря: автореф. деск. на соиск. учен. степ. к. б. н.: специальность 03.02.10 <Гидробиология> - Москва: 2012. - 26 с.: цв. ил.

Красненко А.С., Печкин А.С. Печкина Ю.А., Кобелев В.О. Макрозообентос южной части Обской губы // Международный научно-исследовательский журнал, 2016. - № 8 (50). - С.15-17.

Кузикова В.Б. 1989. Донные зооценозы Обской губы // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 305. - С 66–73.

Кузнецов А.П. 1976. Трофическая структура донной фауны Карского моря // Донная фауна краевых морей СССР. М.: ИО АН СССР. - С. 32-61.

Кузнецов В.В., Ефремкин И.М., Аржанова Н.В., Гангнус И.А., Ключарева Н.Г., Лукьянова О.Н. 2008. Современное состояние Обской губы и ее рыбохозяйственное значение // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 5. №2. С. 129-154.

Кузнецов В.В., Ефремкин И.М., Аржанова Н.В., Гангнус И.А., Ключарева Н.Г., Лукьянова О.Н. Современное состояние экосистемы Обской губы и её рыбохозяйственное значение. В сб. Вопросы промысловой океанологии. Под ред . А.П. Алексеева, В.Н. Кочкикова, В.В. Масленникова. М.: Изд-во ВНИРО. 2008. Вып. 5. №2. С. 129-153.

Куршева А.В., Петрова В.И. Спектро-флуориметрическое исследование распределения углеводов в воде и донных осадках Баренцева и Печорского морей // Тезисы докладов XV Международной школы морской геологии. Геология морей и океанов. М: ГЕОС. 2003. Т. II. С.186.:ISBN 5-89118-347-1.

Лапин С. А. 2012. Пространственно-временная изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик Обской губы как основа оценки её биопродуктивности. Автореф. дисС. канд. геогр. наук. М. 25 с

Лапин С.А. 2011. Гидрологическая характеристика Обской губы в летне-осенний период. Океанология. 51(6): 984–993. 2.

Лапин С.А. 2011. Гидрохимическая структура вод Обской губы и оценка её биопродуктивности // Промысловая океанология. Вып. 8. № 1. С. 84–100.

Лапин С.А. 2012. Пространственно-временная изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик Обской губы как основа оценки ее биопродуктивности. Автореф. дис. канд. геогр. наук. М., изд-во ВНИРО: 25 с. 3.

Лапин С.А. 2014. Специфика формирования зон повышенной продуктивности в Обском эстуарии. Труды ВНИРО. 152: 146–154.

Лапин С.А. Специфика формирования зон повышенной продуктивности в Обском эстуарии // Тр. ВНИРО. 2014. Вып.152. С. 146-154.

Лещинская А.С. Зоопланктон и бентос Обской губы как кормовая база рыб // Тр. Салехард. стационара УФ АН СССР. 1962. Вып. 2. С. 27-76

Лещинская А.С. Зоопланктон и бентос Обской губы как кормовая база для рыб // Труды Салехардского стационара АН СССР. Уральский филиал. 1962. Вып. 2. 76 с.

Лисицын А.П. 1994. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. Т. 34. № 5. С. 735–747.

Логвина Е.А. и др. Оценка заносимости подходного и морского канала к порту в поселке Сабетта полуострова Ямал. // Проблемы Арктики и Антарктики: науч. журнал. – 2012. – Т.4. - №94

Любина О.С. и др. Распределение зообентоса по трассе Севморпути / О.С. Любина, Е.А. Фролова // Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря (отв. ред. Г.Г. Матишов). Мурман. морской биол. ин-т КНЦ РАН. – М.: Наука, 2007.

Михайлов В. Н. 1997. Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС. 176 с.

Михайлов В. Н. 1998. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ. 176 с

Мотычко В.В., Опекунов А.Ю., Константинов В.М., Андрианова Л.Ф. Основные черты морфолитогенеза в северной части Обской губы. Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2011. Вып. 1, с. 67-80.

Мошаров С.А., Демидов А.Б., Симакова У.В. Особенности процессов первичного продуцирования в Карском море в конце вегетационного периода // Океанология. 2016. Т.56, №1. С. 90–100.

Мошаров С.А., Сергеева В.М. Оценка функционального состояния морского фитопланктона по флуоресцентным показателям и соотношению концентраций феофитина и хлорофилла «а»// Вопросы современной альгологии. 2018. № 1 (16).

Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга // Региональный норматив, разработанный в рамках российско-голландского сотрудничества по программе PSO 95/RF/3/1. СПб., 1996. 20 с.

Оксиук О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76

ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости "Флюорат-02".

ПНД Ф 16.1:2.23-2000. Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв, грунтов и донных отложений на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С.

ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Попов П.А. Адаптация гидробионтов к условиям обитания в водоемах субарктики – на примере экологии рыб в водоемах субарктики западной Сибири - Новосибирск, 2012. - 255 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В.А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

Степанова В.Б. 2003. Фауна реликтовых ракообразных (Malacostraca) Обской губы // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Вып. 4. - С. 97–105.

Степанова В.Б., Степанов С.И., Вылежинский А.В. Многолетние исследования макрозообентоса Обской губы/ / Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2010. Вып. 11. С. 110-117.



Стунжас П.А., Маккавеев П.Н. 2014. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности. *Океанология*. 54(5): 622–634. 10.7868/S0030157414050128

Суханова И.Н., Флинт М.В., Мошаров С.А., Сергеева В.М. 2010. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилежащем Карском шельфе // *Океанология*. Т. 50. № 5. С. 785–800.

Федоров В.Д., Капков В.И. *Практическая гидробиология*. М.: ПИМ. 2006. 367 С.

Филатова З.А., Зенкевич Л.А. 1957. Количественное распределение донной фауны Карского моря // *Тр. Всесоюзн. гидробиол. об-ва*. Т. 8. - С. 3-62.

ФР.1.31.2004.01279. Методика выполнения измерений массовой доли полиароматических углеводородов в пробах почвы и донных отложений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Фролов А.А., Любин П.А. 2003. Фауна и количественное распределение двустворчатых моллюсков надсемейства Pisidoidea Обской и Тазовской губ // *Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей (информатика, экология, биогеография)*. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. - С. 195-207.

Хлебович В.В. 1974. Критическая солёность биологических процессов. Ленинград: Наука. – 236 с

Численко Л.Л. *Номограммы для определения веса водных организмов по размеру и форме тела*. Л.: «Наука», 1968. 195 с.

Шемшур В.Е., Финенко З.З., Бурлакова З.П., Крупаткина Д.К. Оценка первичной продукции морского фитопланктона по хлорофиллу «а», относительной прозрачности и спектрам восходящего излучения // *Океанол.* — 1990. — Т. 30, вып. 3. — С. 479-485.

Электронный ресурс (дата обращения: 27.05.2021). [www.iucngisd.org /](http://www.iucngisd.org/gisd/) доступ по ссылке — URL: <http://www.iucngisd.org/gisd/>. Проверено 28.09.2021. Дата обращения: 27.05.2021

Электронный ресурс (дата обращения: 27.05.2021). [www.marbef.org](http://www.marbef.org) / доступ по ссылке — URL: <http://www.marbef.org/data/aphia.php?p=search>. Проверено 28.09.2021. <http://www.marbef.org/data/aphia.php?p=search> дата обращения: 27.05.2021

Электронный ресурс (дата обращения: 31.08.2021). [www.iucngisd.org](http://www.iucngisd.org) / доступ по ссылке — URL: [49http://www.iucngisd.org/gisdhttps://www.rosmorport.ru/filials/arf\\_serv\\_loc/](http://www.iucngisd.org/gisdhttps://www.rosmorport.ru/filials/arf_serv_loc/)). Проверено 28.09.2021. Дата обращения: 31.08.2021



## Приложения

### Приложение А. Копия Технического задания

## Приложение Б. Аттестат аккредитации ООО «Лаборатория»

## Приложение В. Акт мобилизации

## Приложение Г. Акт демобилизации

## Приложение Д. Акты отбора проб

### Приложение Д 1. Акт выполнения океанографических исследований

## Приложение Д 2. Акт отбора проб донных отложений



### Приложение Д 3. Акт отбора проб ихтиопланктона

#### Приложение Д 4. Акт отбора проб фитопланктона

## Приложение Д 5. Акт отбора проб на хлорофилл «А»

Приложение Д 6. Акт отбора проб на определение первичной продукции фитопланктона

## Приложение Д 7. Акт отбора проб макрозообентоса

## Приложение Д 8. Акт отбора проб зоопланктона



## Приложение Е. Акты ежедневной отчётности

## Приложение Ж. Протокол лабораторных измерений образцов донных отложений