

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«СИРЕНА»

«Утверждаю»

*Менеджер проекта*

И.Н. Сенченя

## ОТЧЕТ

о выполнении пилотного проекта «ОЧИСТКА АРКТИЧЕСКОЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ» в рамках реализации проекта «Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды»

Руководитель проекта:

Ген. директор ООО «Сирена»

(Консультанта)

д.б.н. Г.М. Воскобойников

2009

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## РЕЗЮМЕ

В ходе выполнения пилотного проекта «ОЧИСТКА АРКТИЧЕСКОЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ» согласно Техническому заданию были продемонстрированы возможности использования новой технологии для очистки морской воды от нефтепродуктов: плантации – биофильтра, основой которой является симбиотическая ассоциация: бурые водоросли и углеводородокисляющие бактерии.

Испытательным полигоном была выбрана акватория губы Оленья (Баренцево море) с потенциальными источниками загрязнения: заводом по разделке подводных лодок «НЕРПА» и кораблями военно-морского флота, стоянка которых находится в мористой части губы.

Реализация пилотного проекта, апробация технологии, осуществлялась с ноября 2007 года по октябрь 2008 года. Плантация представляла инженерное сооружение с горизонтальными канатами-субстратами для *Fucus vesiculosus* на поверхности воды, талломов *Laminaria saccharina* на субстратах-поводцах в слое 0.5-5 метров и эпифитными углеводородокисляющими микроорганизмами. Плавающая конструкция площадью 0,5 гектара была прикреплена к искусственным якорям на глубине 15-25 метров.

В период эксперимента было несколько мощных выбросов нефтепродуктов антропогенного характера в губу Оленью. Фукусовые водоросли на плантации длительное время находились в плотном контакте с пленкой нефтепродуктов, выполняя роль боновых заграждений, препятствуя ее распространению, и очищая поверхность воды.

Параллельно с плантационными экспериментами проводились опыты в море и лаборатории на биологической станции Мурманского морского биологического института (Дальние Зеленцы, побережье Баренцева моря), где была продемонстрирована возможность фукусовых водорослей в очистке воды от нефтепродуктов.

Анализ результатов, полученных при реализации пилотного проекта, позволил сделать следующие выводы:

- 1) Предложенная схема плантации-биофильтра и технология ее реализации обеспечивает круглогодичное функционирование плантации;
- 2) Водорослевая плантация (при соблюдении технологии постановки) противодействует распространению нефтепродуктов по поверхности воды, сорбируя их,

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

а также снижает в окружающей среде содержание нефтепродуктов, включая их в метаболизм с последующей нейтрализацией;

3) Активность углеводородокисляющих бактерий – эпифитов бурых водорослей повышается при нахождении в условиях загрязнения нефтепродуктами, что рекомендуется использовать при подготовке плантации к постановке;

4) Впервые определены 5 видов эпифитных бактерий - доминантов, обеспечивающих нейтрализацию нефтепродуктов на поверхности водорослей;

5) Отдельные модули плантации можно использовать для изоляции источников загрязнения, в целях обеспечения экологической безопасности при развитии плантационного выращивания гидробионтов в прибрежье Баренцева моря;

6) Расчеты утилизации нефтепродуктов водорослями, на основании работы плантации и модельных экспериментов показали, что 1 гектар плантации - биофильтр может нейтрализовать за неделю около 100 кг нефтепродуктов;

7) Урожай водорослей (ламинариевых) может использоваться для получения биологически активных веществ;

8) Разработанный и опробованный типовой проект плантации в Баренцевом море можно экстраполировать на другие моря с учетом региональных особенностей (абиотических и биотических факторов).

На основе материалов пилотного проекта была подана и одобрена заявка на патент «Способ очистки морских прибрежных вод от пленочных и диспергированных в поверхностном слое воды нефтепродуктов» (№ 2007106573/13).

Результаты пилотного проекта иллюстрированы фотоотчетом.

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## REPORT

on the pilot project "Cleaning of Arctic marine water pollutions with help of brown algae" in the UNEP/GEF project "Russian Federation - Support of the National Programme of Action for the Protection of the Arctic Marine Environment".

Manager of the project		Senchenja I.N.
Head of the project	DSci	Voskoboinikov G.M.

During the performance of the pilot project "Cleaning of Arctic marine water pollutions with help of brown algae" according to the Technical scheme the opportunities of use of new technology for cleaning the coastal water area oil pollutions have been demonstrated: the organization of the biofilter plantation in a base of which a symbiotic association of brown algae and hydrocarbon oxidizing bacteria was laid.

The plantation of the area 0.5 hectare was set in the Olenja Bay of the Barrens Sea, where there were two sources of oil products, which has polluted the sea water: a factory on submarine fragmentation "Nerpa" and naval ships in the marine part of the bay.

In the frames of realisation of the pilot project the approbation of the technological scheme were done from November 2007 to October 2008. The plantation represents an engineering construction with horizontal lines-substrates for *Fucus vesiculosus* on water surface, talloms of *Laminaria saccharina* on substrates in 0.5-5 m water layer and epiphyte hydrocarbon oxidizing bacteria. The floating construction with square 0.5 ha were attached to artificial anchors in 15-25 m depth.

During the experiment some strong oil blowouts in the Olenja Bay were noted as a result of those the tight oil layer has closed the water surface. For the long time the Fucus algae layer in plantation was in a tight contact with oil products working as a slick bars and clearing water surface.

In parallel to the plantation experiments, the possibility of use of Fucus algae in cleaning the water from oil products was demonstrated in the experiments in sea and in the laboratory of the biological station of the Murmansk Marine Biological Institute RAS (Dalnie Zelentsy, coast of the Barents Sea).

An analysis of the results of realization of the pilot project allowed to make the next conclusions:

- 1) The supposed scheme of the plantation-biofilter and technology of its realization provided the over year function of plantation.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

- 2) The algae plantation (under the correctness of the technological scheme) prevents the oil product distribution accumulating those and also decreases the oil product content in environments including them in metabolism with the following neutralization.
- 3) The activity of the hydrocarbon oxidizing bacteria, epiphytes of brown algae, increases under the oil product pollution conditions that is recommend to use at the preparation of plantation to installation.
- 4) First, 5 species of the epiphyte bacteria dominants were undetermined providing the oil products neutralization on the algae surface.
- 5) Independent modules of the plantation can be used for the isolation of pollution source and for the providing of ecological security at the development of aqua plants in the Barents Sea coastal waters.
- 6) The calculations of oil product utilization by algae and carrying out of model experiments for estimation of plantation work effectiveness have shown that 1 ha of plantation-biofilter can neutralize about 100 kg of oil products per a week.
- 7) The algae (*Laminaria*) harvest can be used for the extraction of the biological active matters.
- 8) The typical project of the plantation according to the features of its realization in the Barents Sea can be extrapolated on other seas with accounting of the regional specificity (abiotic and biotic factors).

On the base of materials of the pilot project the patent application “The way of the cleaning of the sea coastal water of oil products” (№ 2007106573/13 (007130)” was proposed and certified.

The results of the pilot project are illustrated with the photo report.

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

	Стр.
I. Введение	8
I.1. Описание поставленной научной задачи и подходов к ее решению	8
I.2. Список исполнителей (физические лица и организации)	11
I.3. Список сокращений	12
II. Методы натурных и лабораторных исследований	13
II.1. Методика работ и оборудование	13
II.1.1. Методика работ	13
II.1.2. Оборудование	19
III. Результаты	21
III.1. Выбор участка и проведение подготовительных работ по постановке плантации-биофильтра.	21
III.1.1. Губа Оленья – возможное место постановки плантации-биофильтра	21
III.1.2. Анализ литорального фитоценоза	25
III.1.3. Микробиологические исследования	25
III.1.4. Анализ воды	26
III.1.5. Гидродинамический режим	27
III.1.6. Гидрохимический режим	31
III.1.7. Геохимическая характеристика придонных вод	32
III.1.8. Характеристика нефтяного загрязнения в районе рабочего участка	33
III.2. Постановка плантации	36
III.2.1. Установка остова плантации	36
III.2.2. Подготовка и установка на плантации канатов с фукусом	47
III.2.3. Подготовка и установка на плантации канатов с ламинарией	38
III.3. Проведение мелиоративных мероприятий и мониторинга за состоянием окружающей среды и плантации	41
III.3.1. Мелиоративные мероприятия	41

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

III.3.2. Мониторинг	42
III.3.2.1. Анализ изменений водной среды в районе рабочего участка в период существования плантации	42
III.3.2.2. Анализ изменений биоты на плантации в период ее существования	46
III.3.2.2.1. Фукус пузырчатый	46
III.3.2.2.2. Ламинария сахаристая	51
III.4. Обобщение и оценка результатов	53
III.4.1.1. Уборка водорослей и утилизация	53
III.4.1.2. Рекомендации по переработке чистых водорослей для получения товарного сырья	56
III.4.2. Дополнительные эксперименты, подтверждающие эффективность технологии по использованию симбиотической ассоциации: бурые водоросли и углеводородокисляющие микроорганизмы для очистки морской среды от загрязнения нефтепродуктами	59
III.4.3. Оценка экономического эффекта от внедрения технологии и возможности экстраполировать результаты работы на заливы северных, дальневосточных и южных морей России	67
III.5. Перечень результатов интеллектуальной деятельности, полученных в ходе выполнения НИР	75
III.6. Распространение информации об опыте разработки и реализации Проекта в области использования биотехнологии для решения проблем ликвидации нефтяного загрязнения морской среды	76
IV. Заключение	76
V. Список использованной литературы	77
Приложение. Системный типовой подход к созданию санитарной водорослевой плантации в различных регионах	80

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## I. ВВЕДЕНИЕ

### I.1. Описание поставленной научной задачи и подходов к ее решению

В последние годы моря России становятся местом перегрузки и транспортировки газоконденсата, нефти и нефтепродуктов, что ведет к усилению загрязнения прибрежной акватории и оказывает губительное воздействие на морскую биоту.

Данной проблеме уделено пристальное внимание в Морской доктрине Российской Федерации на период до 2020 года (подраздел «Принципы национальной морской политики», раздел 3 «Обеспечение безопасности морской деятельности»): «разрешение противоречий между увеличением объемов и интенсивности добычи углеводородного сырья и других ресурсов с морского дна и необходимость сохранения, воспроизводства и добычи биоресурсов Мирового океана».

На 39-й сессии Исполнительного совета МОК ЮНЕСКО с участием российской делегации (Париж, 21-28 июня 2006 г.) в числе четырех приоритетных областей своей деятельности МОК на период 2008-2013 годов определила управление океанами и прибрежными зонами, обеспечивающее устойчивость окружающей среды и ресурсов океана.

Наибольшему отрицательному воздействию нефтепродуктов подвергаются представители фауны и флоры, обитающие в прибрежной полосе, где концентрация загрязнителей наиболее высокая. Вместе с тем, именно эта зона является местом размножения, раннего развития для многих рыб, беспозвоночных, водорослей (Патин, 1997).

Существующие в настоящее время способы борьбы с загрязнениями акватории нефтепродуктами делятся на механические (боновые заграждения), которые препятствуют распространению нефтяного пятна и химические, способствующие разложению или коагуляции нефтепродуктов. К сожалению, химические реагенты сами в свою очередь оказывают негативное воздействие на прибрежную биоту.

Коллективом специалистов в области морской биологии, биотехнологии и экологии, объединенных во временный творческий коллектив при Обществе с ограниченной ответственностью «СИРЕНА» (ООО «СИРЕНА» - Санкт-Петербург), была предложена технология снижения и предотвращения антропогенного загрязнения арктической морской среды путем организации заградительных зон из морских бурых водорослей в районе источников загрязнений.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

В научные основы новой технологии заложены оба направления борьбы с разливами нефтепродуктов. Предложенная санитарная водорослевая плантация (СВП) с одной стороны препятствует распространению нефтяного пятна, выступая в качестве бонового заграждения, а с другой способствует скорейшей утилизации нефтепродуктов за счет сорбционных свойств водорослей и разложению с помощью симбиотической ассоциации водоросли – эпифитные углеводородокисляющие микроорганизмы.

Аргументами в пользу возможности и необходимости реализации пилотного проекта были:

1. Наличие реальной проблемы загрязнения прибрежных акваторий арктических море нефтепродуктами (НП).
2. Имеющиеся в литературе и оригинальные данные о возможной роли водорослей-макрофитов и углеводородокисляющих микроорганизмов (УМ) в очистке морской воды от НП.
3. Полученные сведения о биологии фукусовых, ламинариевых водорослях и УМ.
4. Теоретический и практический опыт коллектива Консультанта по плантационному выращиванию водорослей в северных морях.
5. Наличие временного творческого коллектива специалистов в области морской биологии, биотехнологии, гидрологии, инженерии и экологии, объединенных при ООО «СИРЕНА», имеющих опыт по реализации, внедрению научных разработок в близких направлениях.

Представленный отчет об апробации данной технологии в Баренцевом море составлен на основе выполнения Техзадания по контракту № CS-NPA-Arctic-02/2007 от 29 августа 2007 г. между Учреждением «Исполнительная дирекция Российской программы организации инвестиций в оздоровление окружающей среды» (Заказчик) и Обществом с ограниченной ответственностью «СИРЕНА» (Консультант) в целях выполнения пилотного проекта «ОЧИСТКА АРКТИЧЕСКОЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ» и направлен на реализацию проекта «Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды».

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Целью данного проекта является демонстрация экономически эффективной методологии использования бурых водорослей для очистки арктических морских акваторий, что в дальнейшем может использоваться для широкомасштабной ликвидации последствий нефтяного загрязнения морских арктических вод, тем самым уменьшая воздействие хозяйственной деятельности в России на арктические международные воды.

Для достижения поставленной цели Консультант при реализации проекта должен был выполнить следующие работы:

**I этап:** Проведение подготовительных, проектно-изыскательских работ по постановке плантации.

*Задача 1:* Выбор участка для осуществления пилотного проекта в арктических водах Кольского залива Баренцева моря и проведение подготовительных работ по постановке плантации.

*Задача 2:* Детальное обследование с проведением гидрологических и гидрохимических исследований.

**II этап.** Постановка плантации.

*Задача 3:* Постановка плантации бурых водорослей на выбранном участке.

**III этап:** Проведение мелиоративных мероприятий и мониторинга за состоянием окружающей среды и плантации

*Задача 4:* Проведение мелиоративных мероприятий и мониторинга состояния окружающей среды и плантации.

**IV этап: Обобщение и оценка результатов**

*Задача 5:* Уборка ламинарии и подготовка к утилизации и переработке

*Задача 6:* Разработка схемы утилизации загрязненных и переработки чистых водорослей для получения товарного сырья.

*Задача 7:* Обобщение и оценка результатов

*Задача 8:* Разработка типового проекта по использованию бурых водорослей для очистки морских вод от загрязнений.

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## I.2. Список исполнителей (физические лица и организации)

Воскобойников Г.М.	руководитель проекта, д.б.н., специалист в области морской биологии, биотехнологии.
Матишов Г.Г.	академик, научный консультант проекта
Ильинский В.В.	д.б.н., специалист в области морской микробиологии
Завалко С.Е.	к.б.н., специалист в области гидрологии, экологии
Коробков В.А.	к.т.н., специалист в области экологии, морских технических сооружений
Куранов Ю.В.	к.э.н., специалист в области экономики
Макаров М.В.	к.б.н., специалист в области гидробиологии, аквакультуры, физиологии растений
Метельский А.А.	мл.н.сотр., специалист в области альгологии
Никольский А.А.	к.э.н., специалист в области экономики
Пуговкин Д.В.	мл.н.сотр., специалист в области морской микробиологии
Рыжик И.В.	к.б.н., специалист в области альгологии
Зубова Е.Ю.	инженер-биотехнолог
Макарова О.М.	инженер-биотехнолог

На разных этапах проекта в его реализации принимали участие:

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Главный филиал ФГУП «Звездочка» СРЗ «Нерпа» (г. Снежногорск), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургская химико-фармацевтическая академия, ООО «БИОТЕХНКОМ» (СПб), ООО «НОРД-СЕРВИС» (г. Мурманск), ООО «Мурманснаб» (г. Мурманск), ООО «БИОФРИЗ» (г. Снежногорск).

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## 1.3. Список сокращений

- АПАВ – анионно активные поверхностные вещества  
БАВ – биологически активные вещества  
БАД – биологически активные добавки  
ВМФ – военно-морской флот  
ГЖФ – генеральная жизненная функция  
ДТ – дизельное топливо  
НП – нефтепродукты  
НУВ – нефтяные углеводороды  
ПАУ – полиароматические углеводороды  
ПДК – предельно допустимая концентрация  
ПХБ – полихлорированные бифенилы  
РУ – рабочий участок  
СВП – санитарная водорослевая плантация  
ТМ – тяжелые металлы  
УМ – углеводородокисляющие микроорганизмы  
УВ-бактерии – углеводородокисляющие бактерии  
ФП – фукус пузырчатый  
ЭУМ – эпифитные углеводородокисляющие микроорганизмы

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## II. МЕТОДЫ НАТУРНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### II.1. Методика работ и оборудование

#### II.1.1. Методика работ

При выборе участка для размещения плантации-биофильтра, исследовании фоновой ситуации проводились визуальные наблюдения, анализировались литературные данные, проводились инженерно-экологические изыскания.

Сбор, обработка и анализ материалов инженерно-экологических изысканий осуществлялись общепринятыми в международной практике методами и откалиброванным оборудованием, а также в соответствии со стандартными океанографическими, гидрохимическими, гидробиологическими и микробиологическими методами и наставлениями.

Оценка фоновой экологической ситуации в районе губы Оленьей Кольского залива Баренцева моря включала в себя следующие работы:

1. Отбор и описание образцов и проб грунта, водорослей, отбор поверхностного и придонного слоев воды.
2. Проведение полевых и лабораторных аналитических исследований
  - суммарная фракция,
  - фенолы (общие),
  - АПАВ.
3. Определение гидрохимических параметров водной среды в придонном слое (рН, Eh, O своб., t °C)
4. Определение компонентов загрязнения.
  - тяжелые металлы (Fe, Mn, Ni, Co, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, Hg, As, Sr),
  - ПАУ,
  - ПХБ

Методика экологического мониторинга разработана в результате опыта региональных экологических исследований, проводимых ООО «СИРЕНА» совместно с ММБИ КНЦ РАН, ФГУП ВСЕГЕИ в Баренцевом и Карском морях, а также на Ладожском озере, Невской губе и Финском заливе.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

### *Методика полевых работ*

Пробоотбор донных отложений на сублиторали и литорали и при полной воде проводился с борта судна с помощью малогабаритного ковша типа Петерсона. Отбор проб осуществлялся из поверхностного слоя. На литорали при малой воде и берегу пробы отбирались из закопушек. Так же, как и для сублиторали, пробы донного грунта отбирались из поверхностного слоя.

Для экологических исследований проведен отбор следующих проб:

- геохимический анализ (определение тяжелых металлов – Fe, Mn, Ni, Co, Hg, As, Pb, Zn, Cu и др.), проба поверхностных осадков отбиралась в пластиковый пакет;
- проба донных осадков отбиралась на каждой станции из поверхностных осадков в специальные бюксы или чашки Петри диаметром 100 мм для сохранения естественной влажности;
- пробы для определения группового анализа углеводородов, ПХБ (полихлорбифенилы), ПАУ (полиароматические углеводороды) и фенолов весом от 0,25 – 0,5 кг отбирались на каждой станции в пластиковые пакеты.

Отбор проб воды для гидрогеохимических исследований проводился специальным батометром, изготовленным из фторопласта. Придонный горизонт опробования - +1 м над поверхностью дна.

Гидрогеохимические пробы отбирались на:

- определение тяжелых металлов из горизонта +1м (250 мл);
- определение нефтепродуктов (500 мл);
- определение фенолов (200 мл);
- определение АПАВ (100 мл);
- определение ПАУ (1 л)
- определение ПХБ (1 л)

Для отбора проб на определение нефтепродуктов, фенолов, АПАВ, ПАУ и ПХБ использовалась исключительно стеклянная посуда.

Пробы воды для определения содержания тяжелых металлов сразу консервировались концентрированной азотной кислотой. Уровень кислотности контролировался с помощью универсальной индикаторной бумаги.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Кроме того, были проведены исследования физико-химических особенностей придонных вод. С этой целью проводилось определение температуры, pH и Eh, растворенного кислорода в воде. Анализы выполнялись с помощью приборов:

- Микропроцессорный pH-метр-иономер И-500 – pH,
- ORP HI 98201 HANNA instruments – измерение Eh,
- Термооксиметра AQUA-OXY - измерение концентрации растворенного кислорода и температуры.

Непосредственно в поле на анализаторе «Флюорат-2М» также было проведено определение некоторых компонентов загрязнения, таких как нефтепродукты (НП), фенолы, анионно-поверхностно-активные вещества (АПАВ). Методики измерений разработаны в НПФ «ЛЮМЕКС», используются в большинстве аккредитованных отечественных лабораторий.

*Методика аналитических исследований.*

Для обеспечения решения задач, поставленных в комплексе экологических исследований, нами использовались:

Приближенно-количественный спектральный анализ на 48 элементов – SiO<sub>2</sub> (0,01), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01), MgO (0,01), CaO (0,01), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01), K<sub>2</sub>O (1), Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,01), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,08), Sr (0,01), Ba (0,01), Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,001), MnO (0,001)\*, V (5), Cr (10), Co (0,5), Ni (3), Zr (10), Hf (10), Nb (10), Ta (100), Sc (1), Ce (100), La (20), Y (1), Yb (0,5), U (300), Th (100), Be (0,3), Li (10), W (10), Mo (2), Sn (2), Cu (0,3), Pb (5), Zn (20), Cd (5), Bi (1), Ag (0,03), In (2), Ge (2), Ga (2), Tl (2), As (100), Sb (20), Te (100), В (10)\*\*.

Так как для ряда основных тяжелых металлов точность определения этим методом недостаточна, то для их определения были дополнительно использованы методы анализа с большей чувствительностью и точностью.

Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ – Sr (1), U (2), Pb (3), As (9)\*\*.

Атомно-абсорбционный анализ – Cr, Co, Ni, Cd, Cu, Zn, Hg (метод холодного пара).

---

\* нижний предел обнаружения, содержание в % масс.

\*\* нижний предел обнаружения, содержание в ppm.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Гамма-спектрометрический анализ – определение изотопов  $^{226}\text{Ra}$  (8),  $^{232}\text{Tl}$  (5,6),  $^{40}\text{K}$ (37),  $^{137}\text{Cs}$  (2,8),  $^{60}\text{Co}$  (3,8) \*\*\*

ИК- метод анализа – определение суммарного содержания НУВ в донных осадках и почвах.

Хромато-масс-спектрометрический анализ (ХМС) – определение группового состава нефтяных углеводородов. С помощью метода ХМС предполагалось не только измерение суммарной концентрации НП, но и изучение механизма их деградации.

Хроматографический и спектрофотометрический анализы – определение 3,4-бензпирен (0,001), полихлорированные бифенилы (0,010), фенольный индекс (0,002) \*\*\*\*.

*Отбор проб и анализ водорослей для определения фонового состояния.*

Пробы водорослей отбирались в среднем горизонте литорали с использованием рамки площадью 0.25 м<sup>2</sup>. В отобранных пробах определялись видовой состав водорослей и средняя биомасса доминирующих видов. Визуально определялось проективное покрытие. У фукоидов определялась длина и масса растений, количество дихотомических ветвлений на главной оси слоевища. В связи с тем, что число дихотомических ветвлений у фукусовых водорослей является возрастным признаком, все растения разбивались на возрастные группы по количеству ветвлений.

При отборе проб на загрязнение водоросли промывали в морской воде, очищали от обрастателей, возможного мусора, высушивали на фильтровальной бумаге при температуре 20-22 °С, упаковывали в специальную тару и передавали для последующих анализов. В ряде случаев на аналитические исследования передавались свежесобранные водоросли (температура хранения не превышала +7<sup>0</sup> С, время от момента сбора до передачи – не более 1 суток).

*Содержание НП в водорослях анализировались по следующим схемам:*

Свежесобранные водоросли очищали ватой, смоченной гексаном. Вату затем экстрагировали гексаном.. Очищенные таким образом водоросли измельчали и экстрагировали

---

\*\*\* минимально-детектируемая активность, бк.

\*\*\*\* нижний предел обнаружения, содержание в мг/кг

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

гексаном на ультразвуковой бане. Полученные экстракты упаривали в токе азота до объема 100 мкл и анализировали методами газовой хроматографии и ХМС.

### *Гидродинамические исследования*

#### *Измерения движения воды в пределах плантации.*

Среди факторов среды, определяющих структурные и продукционные параметры макрофитов в прибрежной зоне можно выделить движение воды. Гидродинамика среды обитания водорослей влияет на ростовые параметры водорослей: в условиях интенсивного движения воды рост массы водорослей может значительно возрастать. Этот эффект проявляется как на уровне слоевища (Conover, 1968; Хайлов; 1976; Хайлов, 1988; Oliger, Santelices, 1981), так и на популяционном уровне (Завалко, 1983; Воскобойников и др., 2007).

Величина подвижности воды во многом определяет морфологию талломов водорослей (Хайлов и др., 1988; Завалко, 1993), что, в свою очередь влияет на их обтекание. Кроме того, биохимический состав тканей макрофитов, общее содержание биоорганических веществ, распределение ассимилятов по профилю слоевища также во многом регулируется гидродинамическим воздействием (Хайлов и др., 1984; Завалко, 1993; Воскобойников, 2006)

#### *Материалы и методы гидродинамических измерений*

Очевидно, что при столь высокой значимости движения воды для жизнедеятельности водорослей, и, соответственно, - для выполнения целевой функции очистки воды от нефтепродуктов, исследования гидродинамической ситуации на плантации приобретает особое значение.

При измерении гидродинамического состояния среды обитания водорослей необходимо выдержать ряд специфических требований.

1. соответствие характерных размеров датчика масштабу измеряемого явления (размеру вихрей).
2. учет не только ламинарной линейной, но и турбулентной составляющей потока.
3. измерение движения воды во всех направлениях, а также – быстрых изменений скорости потока.
4. обеспечение числа измерений, позволяющих получить достоверную оценку влияния анализируемого фактора.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

5. получение синхронных измерений движения воды в разномасштабных пространствах

В ряду методов, отвечающим названным критериям, можно назвать метод гипсовых структур (Muus, 1968).

Для измерений применяют гипсовые структуры различного размера. Растворение гипса физически моделирует «выходную» составляющую обмена веществ водорослей в условиях потока. Данный метод позволяет интегрально учесть ламинарную и турбулентную составляющие потока, а также – разнонаправленные потоки. В современной модификации данная методика позволяет также учесть движение воды синхронно в самых разных масштабах пространств: десятки метров, метром, дециметром, сантиметром и миллиметром. В конечном итоге растворение гипсового шара отражает общую гидродинамическую активность местообитания водорослей – наиболее важную для оценки их метаболизма и продукционных характеристик.

Для измерения гидродинамической активности в месте размещения плантации использовали гипсовые шары стандартного диаметра – 31 мм. Предварительно взвешенные и промаркированные шары крепили на 8 нитях длиной от 7 до 10 м. Нити размещали в разных точках плантации вертикально, прикрепляя к несущим канатам, которые находились на поверхности воды. Расстояния между шарами на нити подбирали таким образом, чтобы наиболее подробно измерить гидродинамику верхнего метрового слоя воды, прикрепляя шары через 20 см. Начиная со второго метра нити шары крепили через 1 м. Длина нитей 1 – 4 составила 10 м, нитей 5 и 6 – 8 м, нитей 7 и 8 – 7 м. При определении длины нити исходили из задачи измерения движения воды по вертикальному профилю слоя воды, занимаемому плантацией (4 м), а также - подстилающего плантацию слоя воды. Глубины в различных частях плантации изменялись от 30 м (в мористой части) до 7 – 8 м (в береговой части).

### *Микробиологические исследования*

#### *Отбор и подготовка проб к анализу*

При отборе проб макрофитов обязательным условием было отсутствие обрастателей на талломах. Фрагменты из средней части таллома тщательно протирали стерильным тампоном-аппликатором с ватой на конце. Вату встряхивали на вортексе в склянке с 5 мл воды. Данный метод десорбции позволял учитывать максимальное количество бактерий.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Воду для микробиологических исследований отбирали при помощи пробоотборника со сменными стерильными склянками. Место отбора воды располагалось на расстоянии не менее метра от макрофитов, чтобы исключить влияние последних на микробное население воды.

### *Определение численности бактерий*

Определение общей численности бактерий проводилось методом эпиллюминесцентной микроскопии с использованием красителя акридиновый оранжевый.

Для учета численности гетеротрофных бактерий использовался метод предельных разведений с применением жидких сред: модифицированная среда Зобелла для сапротрофных бактерий, среда ММС для УОБ. В качестве единственного источника углерода в каждую пробирку со средой (4,5 мл) добавляли 2 капли стерильного дизельного топлива марки «летнее». (Ильинский, 2000).

Определение наиболее вероятного числа бактерий проводили с использованием таблиц Мак – Креди (Практикум по микробиологии, 1976).

### *Генетический анализ.*

Видовая идентификация выделенных штаммов проводилась путем генетического анализа 16S рРНК на базе ФГУПГос НИИГенетика.

### **II.1.2. Оборудование**

Для проведения океанографических, гидрохимических, биологических исследований, отбора и анализа проб на концентрации загрязняющих веществ использовались следующее оборудование:

- Малогабаритный ковш типа Петерсона.
- STD-зонд SEACAT SBE 19plus фирмы SEA-BIRD ELECTRONICS (США);
- Батометр OTE PVC на 5 л (США)
- Микробатометр на 0,5 л
- Фотоколориметр КФК-2
- Универсальный цифровой титратор фирмы HACH
- Ламинарный бокс

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

- Автоклав
- Термостатированная качалка
- Микробюретка
- Вакуумный насос Камовского
- Микропроцессорный рН-метр-иономер И-500
- ORP HI 98201 HANNA instruments
- Анализатор «Флюорат-2М»
- Спектрофотометр «Specord»
- Термооксиметр AQUA-OXY
- Хромато-масс-спектрометр DSQ II Focus фирмы Finnigan

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

- Лабораторная посуда
- Реактивы
- Холодильник
- Шланги, канистры, посуда для хранения проб
- Экспозиционные склянки – разнообъемные
- Рамка для отбора проб водорослей
- Специальные пластиковые пакеты для отбора проб
- Водолазное оборудование для сбора материала
- Видеокамера и цифровые фотокамеры

## **III. РЕЗУЛЬТАТЫ**

### **III.1. Выбор участка и проведение подготовительных работ по постановке плантации-биофильтра.**

#### **III.1.1. Губа Оленья – возможное место постановки плантации-биофильтра**

В настоящее время губы Мурманского побережья Баренцева моря, в том числе Кольский залив, становятся местом перегрузки, переработки и транспортировки газоконденсата, нефти и нефтепродуктов (рис. 1). В ближайшие годы запланированы к введению в эксплуатацию перегрузочные топливные комплексы в районах устья реки Лавна, поселков Белокаменка, Мишуково. Высока возможность загрязнения непосредственно в местах переработки и перегрузки газоконденсата, нефти и нефтепродуктов, особенно в районе планируемого мощного перерабатывающего и перегрузочного комплекса в губе Териберская, где планируется выход на берег трубопровода Штокмановского газоконденсатного месторождения и строительство на побережье завода по переработке газоконденсата. Одно только усиление потока морских перевозок может повлечь значительное увеличение загрязнения прибрежной акватории, что, несомненно, окажет неблагоприятное воздействие на морскую биоту. Коллективом Консультанта была предложена технология создания заградительных зон: СВП в

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

районе промышленных объектов, связанных с разработкой и эксплуатацией месторождений, хранением, переработкой и транспортировкой нефти и газоконденсата.

Изрезанность берегов в Баренцевом море и ряде других северных морей, наличие большого числа фиордов создает удобные условия для размещения СВП, способствующих очистке морской среды от нефтяного загрязнения.

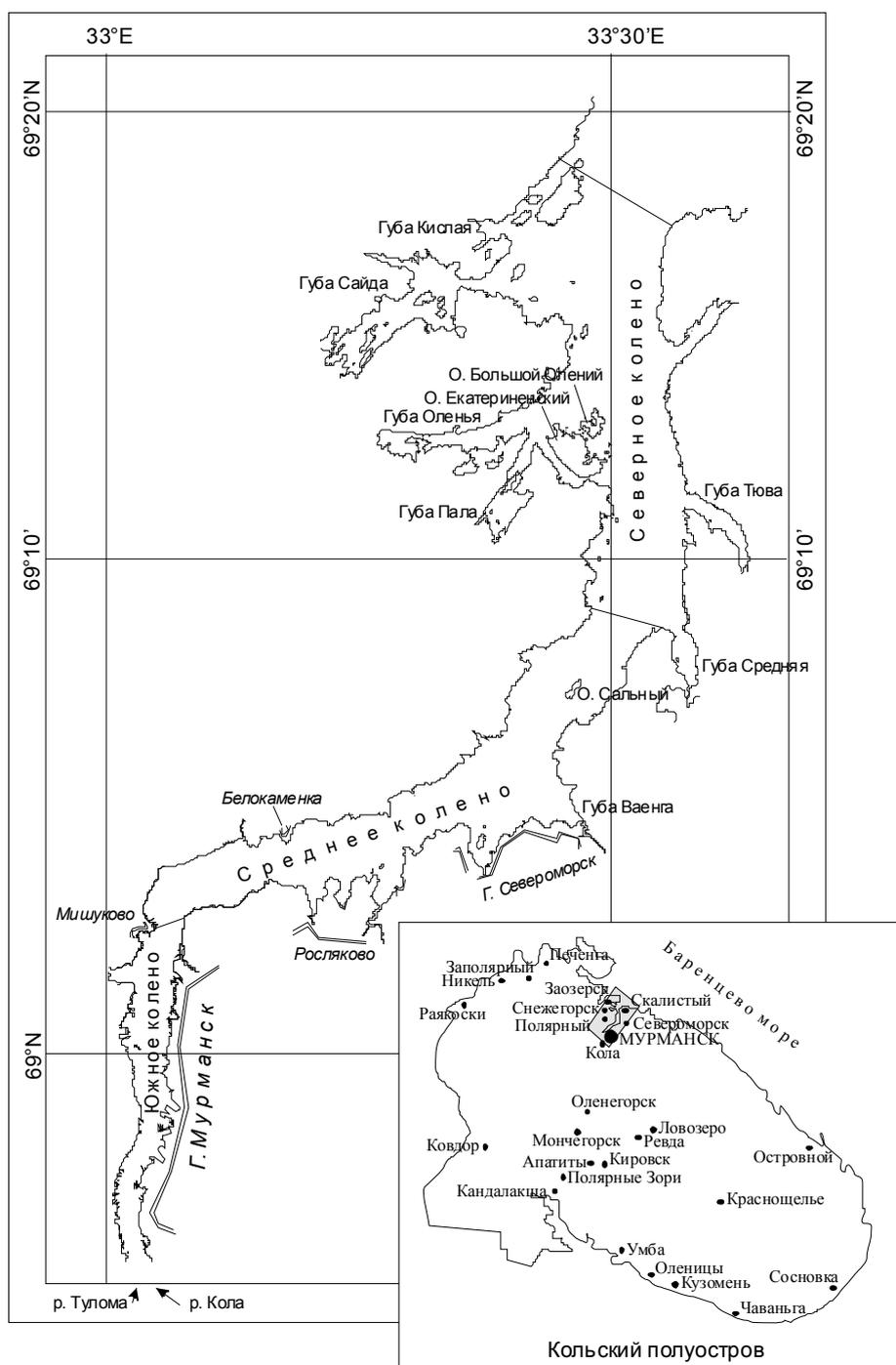


Рис. 1. Карта-схема Кольского залива

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Для осуществления пилотного проекта был выбран участок (рабочий участок - РУ) в губе Оленья Кольского залива Баренцева моря, на берегу которой находится головной филиал ФГУП «ЦС «Звездочка» «Судоремонтный завод «Нерпа» (далее СРЗ «НЕРПА»). СРЗ «НЕРПА» более 20 лет специализируется на ремонте, утилизации атомных подводных лодок (рис. 2 а, б). С руководством завода, природоохранными организациями Мурманской области были проведены встречи-консультации, в результате которых были получены необходимые разрешения и согласования на постановку СВП.

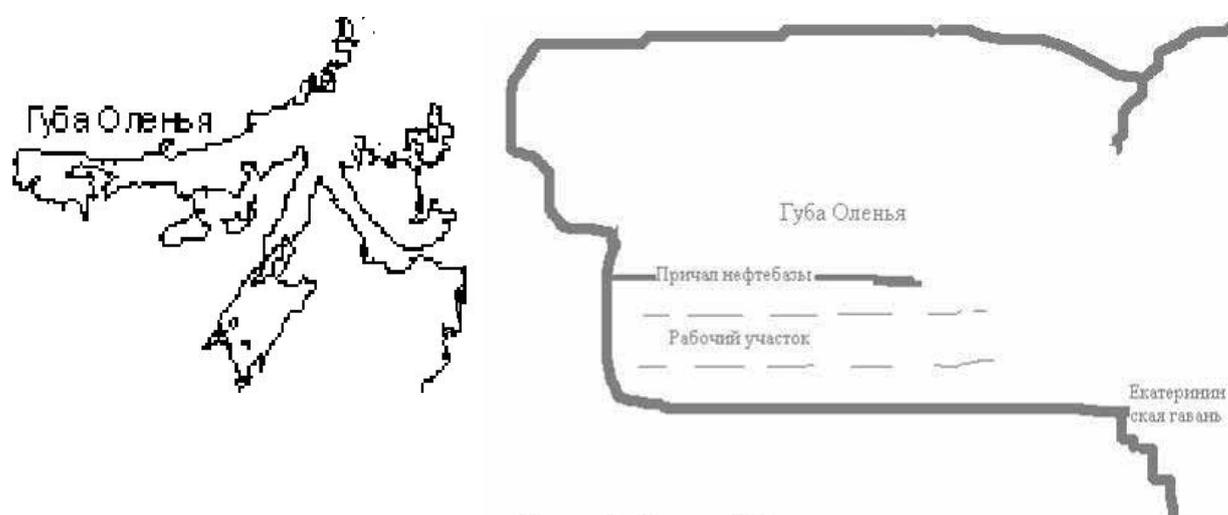


Рис. 2 а. Схема губы Оленья с рабочим участком (участок размещения плантации-биофильтра (СВП))

Основой для выбора данного РУ в акватории кутовой части г. Оленья между причалом нефтебазы и берегом напротив бухты Незаметная с приблизительными координатами  $69^{\circ}12'$  С.ш. и  $33^{\circ}20'$  В.д. были результаты осмотра побережья, анализа характера грунта, рельеф, наличия на дне строительного мусора, металлических конструкций, исследование биоты и окружающей среды, активности судоходства.

На акваторию, предполагаемую для размещения плантации, при восточных ветрах и приливных течениях регулярно поступают НП с места постоянной стоянки кораблей ВМФ у выхода из губы Оленья - Екатерининская гавань. Достаточно часто поверхность воды в губе Оленья затянута нефтяной пленкой (информация экологической службы СРЗ «НЕРПА»).

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

С северной стороны граница РУ расположена в открытой части губы Оленья. С западной стороны граница участка находится примерно в 100 метрах от берега. Литораль каменистая. С южной стороны РУ ограничивает пологий берег. Растительность – кустарник. Супралиторальная и литоральные части берега покрыты булыжниками среднего и мелкого размера. На литорали отмечается присутствие фукусовых водорослей.

Водолазное обследование, предполагаемого РУ, показало, что от западной границы участка к восточной (к мористой части губы) происходит спад глубин от 6-8 м до 20 м. Грунт в районе РУ илисто-песчаный. Крупные валуны, макрофиты, прикрепленные к дну, отсутствуют. На дне не обнаружено присутствия строительного мусора, металлоконструкций.

Визуальные наблюдения выявили, что интенсивность поверхностного нефтяного загрязнения составила 1-2 балла (серая поверхность с редкими бликами, 60-80% нефтяного покрытия). По информации водолазов на грунте имеются редкие участки площадью 30-50 см покрытые пленкой НП. На литорали встречаются валуны, на поверхности которых, а также на поверхности некоторых литоральных водорослей наблюдается присутствие нефтяной пленки.



Рис. 2 б. Фрагмент губы Оленья с расположением плантации-биофильтра и источниками загрязнения: 1) Причал нефтебазы СРЗ «НЕРПА», 2) Стоянка кораблей ВМФ (Екатерининская гавань – выход губы Оленья)

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Основанием для решения по выбору места постановки плантации послужили результаты визуальных наблюдений, проведенных исследований и согласований (см.: III.1.2-III.1.8):

1) Наличие постоянных источников загрязнения: суда, швартующиеся у причала нефтебазы в г. Оленья, цеха по разделке атомных лодок СРЗ «НЕРПА», корабли, базирующиеся у входа в г. Оленья – в Екатерининской гавани;

2) Отсутствие активного судоходства в районе предполагаемого участка;

3) Наличие на литорали фукусовых водорослей, что косвенно свидетельствовало о возможности произрастания фукоидов в данном районе;

4) Наличие глубин на предполагаемой к постановке плантации акватории не менее 6 м.

5) Наличие согласований с руководством СРЗ «НЕРПА» на выделение данного участка для реализации проекта, а также с Комитетом по природным ресурсам и охране окружающей среды, Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора, Морской инспекцией Мурманской области.

### III.1.2. Анализ литорального фитоценоза

На литорали губы Оленья в районе РУ обнаруживается присутствие 6 видов водорослей, общим проективным покрытием литорали до 70%. Преимущественно - это представители Phaeophyta: *Fucus vesiculosus* (90%), а также *F. distichus*, *Ascophyllum nodosum*, *Pylaiella littoralis*; Chlorophyta: *Enteromorpha intestinalis*; Rhodophyta: *Palmaria palmata*. Видовое разнообразие макрофитов, а также возрастные и размерно-весовые характеристики особей *F. vesiculosus* на литорали в районе РУ значительно меньше, чем на литорали большинства губ побережья Баренцева моря.

### III.1.3. Микробиологические исследования

В губе Оленья присутствуют в достаточно больших для северных широт количествах как в воде ( $5,05-5,70 \times 10^6$  кл/мл), так и на поверхности макрофитов ( $4,01-4,26 \times 10^7$  кл/см<sup>2</sup>) евтрофные и олиготрофные бактерии.

В результате проведенных исследований таксономического состава углеводородокисляющего бактериопланктона губы Оленья было выявлено и идентифицировано 7 родов углеводородокисляющих микроорганизмов (УВ): *Pseudomonas*, *Proteus*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Rhodococcus* (табл. 1).

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Таблица 1. Дифференциация родов углеводородоокисляющих микроорганизмов

Род	Описание колоний на среде Чапека
<i>Micrococcus</i>	Округлая, желтоватая.
<i>Rhodococcus</i>	Округлая, гладкая, выпуклая, блестящая, пленчатая.
<i>Proteus</i>	Округлая, выпуклая, с характерным запахом, ползучий рост.
<i>Corynebacterium</i>	Выпуклая, полупрозрачная, с матовой поверхностью
<i>Mycobacterium</i>	Гладкая, выпуклая, влажно-блестящая.
<i>Pseudomonas</i>	Округлая, гладкая, слизистая.
<i>Arthrobacter</i>	Округлая, выпуклая, блестящая, мягкая.

### III.1.4. Анализ воды

По нашим наблюдениям температура поверхностного слоя воды в районе рабочего участка (РУ) в период с 15 по 20 октября составляла 6,7-6,8 °С. На глубине 6 м, 12 м и 20 м температура составляла соответственно 6,6° С, 6,4 °С, 6,1 °С. По данным метеостанции г. Снежногорска годовой температурный максимум в поверхностном слое воды в полумиле от РУ наблюдался с 26 сентября по 5 октября и составил 7,1-7,2 °С. Годовой минимум в этом же месте наблюдался в феврале-марте и равнялся - 1,5 °С.

Соленость по нашим наблюдениям в поверхностном слое воды РУ и в придонном слое в кутовой и средней частях губы (глубины 6-12 м) была 32,5 ед., на глубине 20 м в открытой части губы – 33,5 ед. По данным метеостанции в летний период поверхностный слой опресняется до 27,5-29 единиц солености.

Прозрачность в период с 15 по 20 октября в районе РУ была до 16 метров. По сведениям водолазов, достаточно часто работавших в данной акватории, даже в весенне-летний период (интенсивного таяния снега) прозрачность достигает 10 метров.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Скорость обновления вод в районе РУ требует дополнительных расчетов, однако, исходя из литературных данных (Кольский залив, 2009) период обновления вод составляет около 5 суток.

Наибольшая скорость ветра и высота волн в губе Оленья по данным метеостанции наблюдались с ноября по февраль. Вместе с тем, из-за относительной закрытости РУ, волнение в районе РУ значительно меньше, чем в открытой части губы.

Большое значение при размещении плантации-биофильтра для противодействия загрязнению НП имеет гидродинамический режим в районе РУ. Данному фактору при обследовании РУ было уделено особое внимание.

### III.1.5. Гидродинамический режим

Гидродинамика (методом гипсовых шаров) в районе РУ была исследована после постановки плантации, так как присутствие на поверхности фукусовых водорослей, большого числа наплавов могли внести существенные коррективы в результаты измерений.

#### *Схема размещения гипсовых шаров на плантации*

Шары крепили на вертикальные веревки, которые привязывали к несущим горизонтальным канатам в разных местах плантации (рис. 3, табл. 2).

Веревки были разной длины: №1, 2, 3, 4 – по 10 м, № 5, 6 – по 8 м, № 7,8 – по 7 м (расстояние от точки крепления на канате до груза на нижнем конце).

Таблица 2. Схема размещения шаров на вертикальных веревках

Глубина постановки шара от каната, м	№ шара							
	Веревка 1	Веревка 2	Веревка 3	Веревка 4	Веревка 5	Веревка 6	Веревка 7	Веревка 8
0	1	16	31	46	61	74	87	99
0,2	2	17	32	47	62	75	88	100
0,4	3	18	33	48	63	76	89	101

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

0,6	4	19	34	49	64	77	90	102
0,8	5	20	35	50	65	78	91	103
1	6	21	36	51	66	79	92	104
2	7	22	37	52	67	80	93	105
3	8	23	38	53	68	81	94	106
4	9	24	39	54	69	82	95	107
5	10	25	40	55	70	83	96	108
6	11	26	41	56	71	84	97	109
7	12	27	42	57	72	85	98	110
8	13	28	43	58	73	86		
9	14	29	44	59				
10	15	30	45	60				



Рис. 3. Схема размещения шаров на вертикальных веревках

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Время экспозиции шаров для измерения движения воды составило 23 часа. Шары после экспозиции в море промывали в дистилляте, высушивали и вторично взвешивали. Рассчитывали скорость растворения гипса:

$$V^{Ca} = (W_1 - W_2) / t, \text{ г CaSO}_4 \text{ ч}^{-1},$$

где  $W_1$ ,  $W_2$  – соответственно, начальный и конечный вес шара,  $t$  – время экспозиции шара в море.

Итоговую величину движения воды оценивали по величине интенсивности растворения гипса в расчете на единицу поверхности шара ( $\square_S^{Ca}$ ):

$$\square_S^{Ca} = (W_1 - W_2) / t * S, \text{ г CaSO}_4 \text{ см}^{-2} \text{ ч}^{-1}$$

где  $S$  – площадь поверхности шара,  $\text{см}^2$ .

$\square_S^{Ca}$  определяли с помощью калибровочной регрессии, связывающей данные параметры, любезно предоставленной С.А. Ковардаковым:

$$\square_S^{Ca} = 0.0267 (V^{Ca})^{1.0673}, \text{ г CaSO}_4 \text{ см}^{-2} \text{ ч}^{-1}$$

Первоначальная методика, предложенная Муусом (Muus, 1968), предполагала перевод значений интенсивности растворения гипса в величины линейной скорости потока. При этом использовались результаты калибровочных промеров растворения шаров в лотках с фиксированной линейной скоростью потока. Такие промеры производились при разной фиксированной температуре и выражены в виде серии калибровочных зависимостей. На основании данных зависимостей была рассчитана регрессия перехода от величин интенсивности растворения гипса ( $\square_S^{Ca}$ ) к значениям линейного потока ( $V$ ) с учетом температуры воды во время проведения измерений, которая составила 5,5 °С:

$$V = 257018 (\square_S^{Ca})^{1.8263}$$

### *Результаты и обсуждение*

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Измерение движения воды в пространстве, занимаемом плантацией, выявило его существенную гидродинамическую неоднородность. Подвижность воды верхнего метрового слоя воды оказалась значительно и достоверно выше во всех точках измерения на плантации. Подобное распределение величин движения воды по вертикальному профилю соответствует аналогичному распределению, обнаруженному ранее для разных морей. Рядом исследователей более подробное измерение гидродинамики уже в пределах самого верхнего 10-сантиметрового слоя воды также выявило экспоненциальное увеличение подвижности воды в направлении к поверхности (Хайлов и др., 1988). Подобное наблюдение имеет особую важность для оценки функционального состояния опытной плантации, поскольку ее рабочая сорбирующая часть, содержащая талломы *F. vesiculosus*, располагается преимущественно в верхнем 10-см слое, по всей видимости – в условиях наиболее активной гидродинамики.

В целом гидродинамическая активность пространства плантации закономерно снижается от мористой части к ее береговому концу. Наиболее активно обтекается внешняя часть плантации, причем – на мористом участке, где подвижность воды достигает максимальных величин.

Сопоставление величин интенсивности растворения гипсовых шаров на плантации с результатами аналогичных измерений, проведенных ранее на разных морях, в том числе и на Баренцевом, показывает, что место размещения плантации, в целом, обладает спокойным гидродинамическим режимом, соответствующим среднему уровню общего диапазона величин подвижности воды в условиях Баренцевоморского побережья.

Выражение величин движения воды в единицах линейного потока (рис. 4) существенно не изменило вышеописанную общую картину распределения гидродинамической активности в пределах плантации.

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

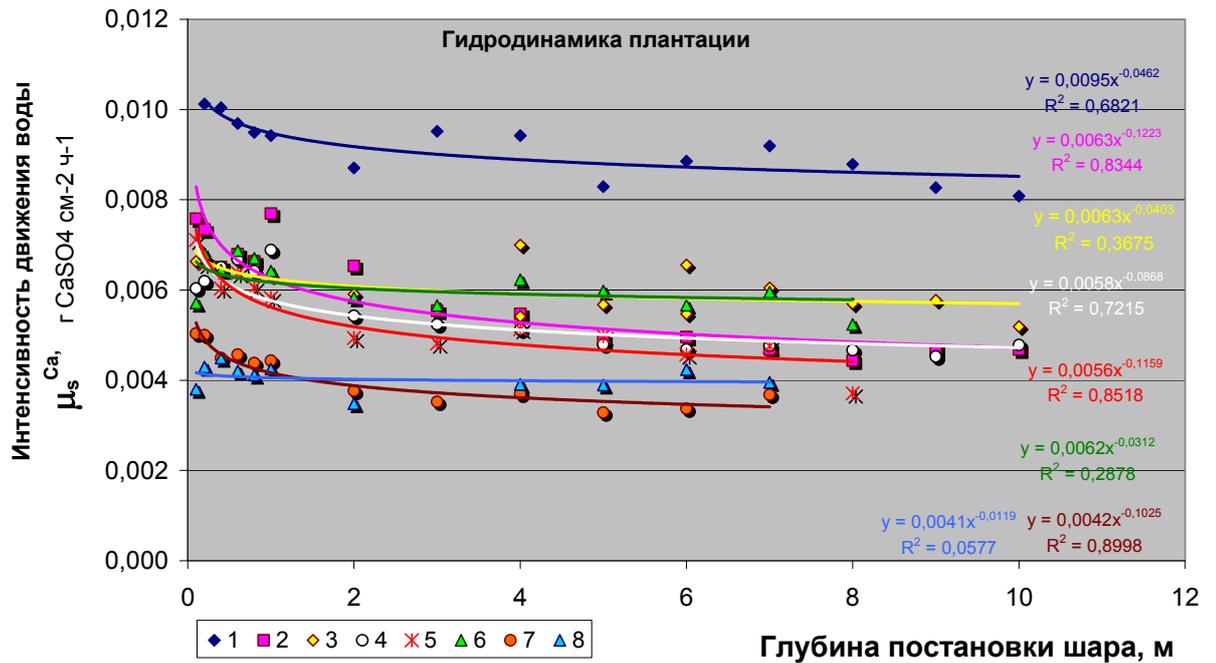


Рис. 4. Гидродинамический режим в районе плантации-биофильтра

### III.1.6 Гидрохимический режим

*Растворенный кислород.*

В исследуемый период содержание кислорода в поверхностном слое составляла 8,4 мг/л, а насыщенность составила 91%.

*Водородный показатель.*

В исследуемый период величина водородного показателя (рН) в РУ равнялась 8.1-8.2.

По макросоставу воду губы Оленья в районе РУ можно классифицировать как морскую К-Na-хлоридную, с минерализацией 31,91%.

Средние значения концентрации элементов в воде в районе РУ представлены в табл. 3.

Таблица 3. Средние значения концентраций элементов в воде (район РУ)

Элементы	Средняя концентрация, г/л	Состав морской воды, г/л
К+Na	10.00	11.100

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Ca	0.37	0.420
Mg	1.27	1.300
Cl	18.08	19.350
SO <sub>4</sub>	2.14	2.700
HCO <sub>3</sub>	0.14	–
CO <sub>3</sub>	0.01	0.070
Σ	31.91	34.94

### *Биогенные вещества*

Содержание *фосфатов* составило в кутовой части РУ - 32 мкг/л, в мористой – 29 мкг/л. Изменений в распределении фосфатов по вертикали не отмечено.

Содержание *кремния*, измеренное в разных частях РУ, не выявило достоверных отличий, составляет в поверхностном слое 305-320 мкг/л, а в придонном 200-210 мкг/л.

Содержание *нитратного азота* также одинаково в разных частях РУ. Нет значительных различий по этому показателю в поверхностном и придонном слоях: около 40 мкг/л.

Содержание *нитритного азота* составляет в поверхностном слое 1.2 мкг/л, а в придонном 2.0 мкг/л.

Содержание *аммонийного азота* составляет в поверхностном слое 240 мкг/л, а в придонном около 200 мкг/л.

Проведенные гидрохимические исследования показали, что поверхностные и придонные воды в районе РУ обладают слабощелочными свойствами. Их рН меняется незначительно и превышает 8,0. Тенденция зависимости рН от места отбора пробы не отчетливая, однако, следует отметить, что придонные воды в сублиторальной области имеют более щелочную реакцию, что может быть связано с ролью соленых вод.

Измерения окислительно-восстановительного потенциала придонных вод показало, что на трех точках при высокой воде Eh характеризуется достаточно высокими положительными значениями (+152 - +225 мВ).

### **III.1.7. Геохимическая характеристика придонных вод**

Основной задачей геохимических исследований являлось определение общей характеристики природных вод (основное внимание при этом уделялось распределению

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

тяжелых металлов и некоторых органических поллютантов), а также выявление показателей техногенного загрязнения природных вод. С этой целью было проанализировано содержание Cu, Zn, Cr, Co, Ni, Cd, Hg, As, бенз(а)пирена, ПХБ, нефтепродуктов, фенолов и АПАВ в придонных водах. Придонные воды отличаются от поверхностных большей консервативностью, что позволяет наблюдать проявление техногенного загрязнения.

Анализ тяжелых металлов в придонном слое воды показал незначительное превышение ПДК по меди, цинку и мышьяку (табл. 4). Необходимо отметить, что по литературным данным превышение ПДК по меди отмечено в акватории всего Кольского залива.

Таблица 4. Средние концентрации тяжелых металлов в придонном слое воды

Элементы	Среднее	ПДК в воде для рыбохоз. целей, мг/л
Cd	0.00023	0.005
Ni	0.0014	0.01
Co	0.0006*	0.01
Pb	0.0046	0.1
Cu	0.0021 (2.1)	0.001
Zn	0.0116 (1.2)	0.01
Cr	0.0012	0.02
As	0.024 (2.4)	0.01

Примечание: \* – нижний предел чувствительности. В скобках указаны значения, во сколько раз концентрация превышает ПДК.

### III.1.8. Характеристика нефтяного загрязнения в районе РУ

Концентрация НУВ в воде в районе РУ не превышает ПДК и составляет около 0,03 мг/л (табл. 5).

Таблица 5. Содержание химических загрязняющих веществ в воде в районе РУ

ПАУ (бенз(а)пирен), нг/л	ПХБ, мкг/л	НУВ мг/л	Фенол, мкг/л	АПАВ, Мкг/л
--------------------------------	---------------	-------------	-----------------	----------------

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

2,54	<0.010	0.028	2,18	11
Погрешность, %				
50%	-	20	20	30

Содержание в поверхностных и придонных водах бенз(а)пирена и ПХБ находится на очень низком уровне (ниже аналитического порога метода). Вместе с тем, концентрация фенола превышает ПДК в 1,6-1,9 раз, что подтверждает отмеченные региональные тенденции.

Концентрация в поверхностных и придонных водах АПАВ в среднем не превышает ПДК.

Содержание НУВ в донных осадках меняется от мористой к кутовой части: от 12 до 20 мг/кг, т.е. по уровню накопления нефтепродуктов донные осадки могут быть отнесены к относительно незагрязненным.

Содержание бенз(а)пирена в донных отложениях в среднем 0,009 мг/кг и не превышает установленных предельно допустимых концентраций. Известно, что в наиболее загрязненных частях Кольского залива концентрация достигает 58 мг/кг.

Содержания полихлорбифенилов (ПХБ) в донных осадках выше порога обнаружения, который составляет для грунтов 0,01 мг/кг, не установлено.

Содержание фенолов в донных осадках в РУ составляет 0,059 мг/кг. Максимальная концентрация 0,128 мг/кг отмечена в кутовой части РУ.

Содержание НУВ в водорослях в районе планируемой постановки плантации выше, чем в воде (табл. 6). Вместе с тем, уровень содержания НУВ ниже, чем обнаруженный нами ранее в водорослях из мест постоянного загрязнения (Мурманский морской порт, причал в пос. Териберка).

Таблица 6. Содержание химических загрязняющих веществ в *Fucus vesiculosus* в районе РУ (приведены средние значения по 6 анализам для ПХБ и НУВ)

ПАУ (бенз(а)пирен)	ПХБ	НУВ
мг/кг сырой массы		
-	0.021	2.134

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Анализ водорослей-макрофитов показал, что в водорослях не происходит накопления бенз(а)пирена. Во всех образцах его содержание оказалось ниже порога обнаружения <0,0005 мг/кг.

В макрофитах содержание ПХБ также ниже порога обнаружения.

Образцы водорослей-макрофитов были дополнительно проанализированы с целью определения в них хлорорганических пестицидов ( $\Sigma$  гексахлорированных циклогексанов), ДДТ и его метаболитов, гектохлора, алгина. Полученные результаты позволяют говорить об отсутствии загрязнения этими соединениями. Во всех случаях содержание хлорорганических углеводов ниже порога обнаружения.

По результатам исследования водной толщи, донных осадков и литоральных водорослей в районе РУ можно оценить состояние биоты и окружающей среды следующим образом:

Воды губы Оленья, на акватории которой предполагалось размещение плантации-биофильтра, относятся к морским. Концентрация меди, цинка и мышьяка в воде незначительно превышает ПДК, но значительно меньше, чем содержание данных металлов в других губах Кольского залива. Наиболее вероятным источником загрязнения является СРЗ «НЕРПА», либо корабли и предприятия ВПК, расположенные в районе Екатерининской гавани. Именно в районе Екатерининской гавани выявляются участки с превышением ПДК по меди (в среднем в 13.7 раз), цинку (до 16 раз), мышьяку (до 2.3 раз), никелю (до 1.2 раз). По другим элементам обстановка в г. Оленья благоприятная. Ни по одному из этих элементов нет превышения над ПДК.

Высокое содержание НУВ в фукусовых водорослях литоральной зоны на фоне относительно низких концентраций НУВ в воде может свидетельствовать, что накопление поллютантов в водорослях носило не сиюминутный характер, а продолжительное время с учетом среднего возраста талломов: 4-6 лет. Полученные результаты свидетельствуют о способности макрофитов аккумулировать нефтепродукты. Поэтому фукусовые водоросли могут быть объективными индикаторами техногенного загрязнения, а их способность к накоплению нефтяных углеводов может способствовать самоочищению водных бассейнов.

Необходимо отметить, что по данным экологической службы г. Снежногорска, СРЗ «Нерпа», свидетельству местных жителей поверхность воды в губе Оленья в течение года по несколько раз бывает сплошь затянута пленкой нефтепродуктов.

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

По-видимому, в акваторию губы Оленья поступают НП, ТМ на разных этапах процесса утилизации подводных лодок: буксировка лодок к доку, разделка, буксировка на хранение комплектующих. В кутовой части губы Оленья находится причал нефтебазы, куда регулярно подходят танкеры, доставляющие дизельное топливо для СРЗ «НЕРПА» и частично для нужд г. Снежногорска, градообразующим предприятием которого является СРЗ «НЕРПА».

Также практически постоянным источником загрязнения нефтепродуктами являются корабли ВМФ, место постоянной дислокации которых находится на выходе из губы Оленья в Екатерининской гавани. При восточных ветрах нефтяная пленка, которую приносит из Екатерининской гавани, покрывает водную поверхность губы Оленья.

## III.2. Постановка плантации

### III.2.1. Установка остова плантации

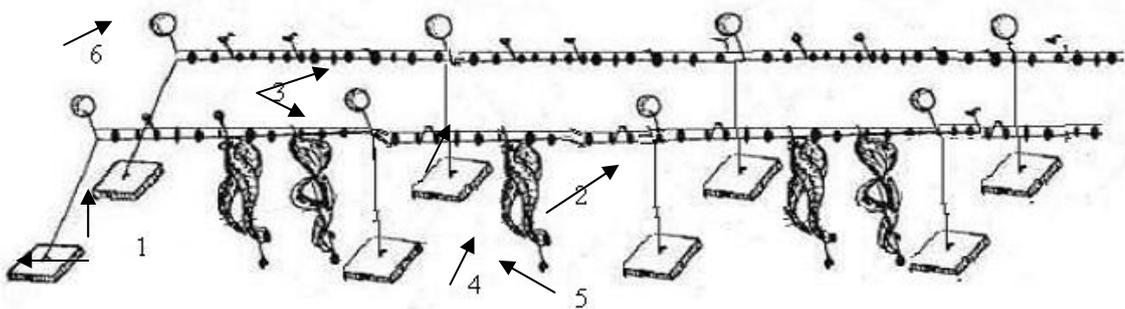


Рис.5. Схема плантации (1 - бетонные массивы массой 1 т, 2 – вертикальные несущие капроновые канаты, 3 – горизонтальные капроновые канаты (длина 20 м) с вплетенными талломами фукусов, 4 – вертикальные канаты-поводцы (длина 5 м) с вплетенными талломами ламинарии или оспоренные. 5 – груз для удержания поводца в вертикальном положении, 6 – кухтыли).

Постановка железобетонных якорей (ЖЯ) осуществлялась вдоль предварительно размеченного РУ в 2 параллельные линии длиной 200 м с расстоянием между ними 25 м. ЖЯ устанавливались на расстоянии 25 м друг от друга. Глубина установки якорей колебалась от 6-8 метров в кутовой части и на глубине 20-24 м в открытой части губы. Также были установлены по 1 якорю, ограничивающих плантацию для крепления шестов с сигнальными фонарями, и 2 железобетонных якоря в центре плантации для крепления в дальнейшем приборов для оценки

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

степени нефтяного загрязнения при проведении мониторинга. Всего было установлено 22 якоря.

От якорей к поверхности воды были протянуты «вертикальные» канаты диаметром 5 см. На поверхности к концам «вертикальных» канатов были прикреплены наплава.

## III.2.2. Подготовка и установка на плантации канатов с фукусом

Собранные на литорали (средний и верхний горизонты) губы Зеленецкая Западная (Кольский Залив Баренцева моря) талломы (кустики) *Fucus vesiculosus* в возрасте 3-5 лет вплетались по 3-5 талломов через 10 см в подготовленные ранее синтетические «горизонтальные» канаты.

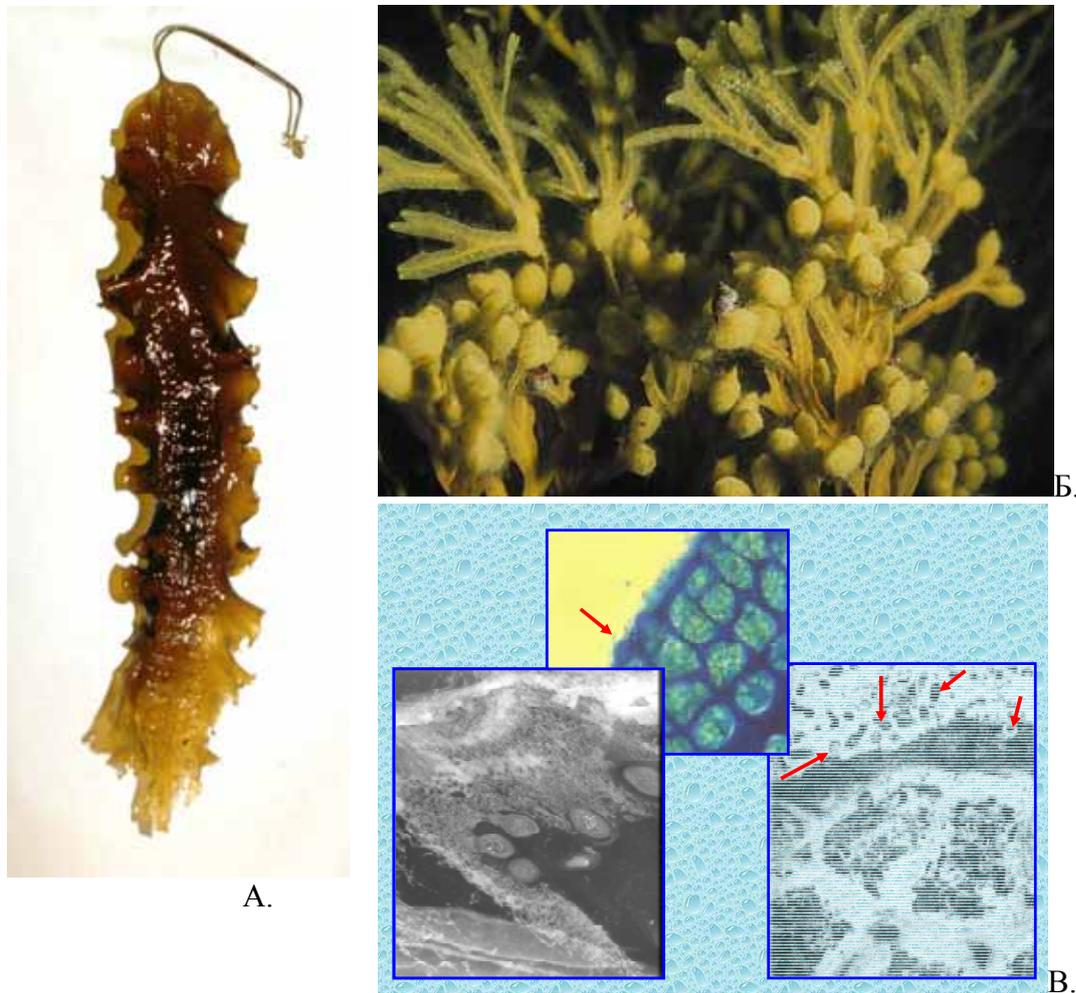


Рис.6. Объекты симбиотической ассоциации:  
А. Ламинария сахаристая (*Laminaria saccharina*); Б. Фукус пузырчатый - *Fucus vesiculosus* L.;  
В. Бактерии на поверхности водорослей (часть из них - углеводородокисляющие).

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Работы проводились при температуре +2 - +5 градусов. В каждый канат было вплетено от 750 до 1000 талломов фукуса. Всего было вплетено от 12000 до 16000 талломов. Работы по вплетению талломов фукуса проводились при температуре +2 - +5 градусов.

Для ускоренного заселения талломов водорослей микроорганизмами их на сутки помещают в емкости с морской водой, обогащенной природной композицией из культур УВ-окисляющих бактерий в комплексе с другими микроорганизмами-деструкторами НП и питательными веществами.

Часть «горизонтальных» канатов с вплетенными талломами (10 штук) в ваннах с морской водой доставлялись на плантацию, крепились на поверхности воды между вертикальными концами и установленными ранее наплавами.

### **III.2.3. Подготовка и установка на плантации канатов с ламинарией**

Для выращивания ламинарии нарезались поводцы: синтетические канаты длиной 5 м (поводцы) диаметром 5-6 мм для последующего оспоривания.

Поводцы сутки промывали в морской воде (замачивали в море в мешках из проточного материала), укладывали в ванны с морской водой и заливали заранее подготовленной суспензией спор ламинарии в необходимой концентрации. Время выдержки поводцов в ваннах составляло 24 часа. Для контроля за оседанием, развитием спор параллельно с субстратами в ванне закрепляли предметные стекла. Через сутки перед изъятием поводцов из ванн обнаружили, что часть спор не только осела, закрепилась на стеклах, а уже проросла. Это дало основание предполагать закрепление, развитие спор ламинарии и на поводцах.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---



Рис. 7. Вплетение талломов фукуса в синтетические субстраты (на каждом 25-метровом субстрате до 1000 талломов)

Транспортировку оспоренных поводцов на плантацию осуществляли в ваннах с морской водой. На горизонтальных канатах их закрепляли с промежутком 1 м друг от друга. К нижнему концу каждого поводца подвязывался груз, способствующий нахождению поводца в вертикальном растянутом положении. Растяжка поводцов противодействует их перехлестыванию при штормовой погоде. Всего было оспорено и закреплено 300 поводцов для 12 «горизонтальных» канатов. После закрепления поводцов на «горизонтальные» канаты крепили дополнительные наплава, чтобы талломы фукуса находились в поверхностном горизонте воды.

В отличие от фукусовых водорослей вплетение молодых спорофитов ламинариевых водорослей осенью не проводилось. Обусловлено это было несколькими причинами: 1) сбор молодых спорофитов ламинарии затруднен, так как их число в природе в данный период времени невелико, продолжительность светового дня очень мала, количество штормовых дней в месяц в ноябре близко к максимуму; 2) из-за частых штормов в ноябре-феврале вероятность гибели вплетенных молодых спорофитов очень велика. Поэтому вместо вплетения спорофитов

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

было проведено осеннее оспоривание поводцов. Этот процесс полностью моделировал массовое спороношение ламинарии, происходящее в этот период в природе, только в качестве субстрата использовался синтетический материал. Технология оспоривания искусственных субстратов была отработана ранее (Воскобойников и др., 2005). В дальнейшем (весной) в часть вертикальных канатов-поводцов были вплетены молодые спорофиты ламинарии.



Рис. 8. Постановка горизонтальных канатов с вплетенными талломами фукуса

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## III.3. Проведение мелиоративных мероприятий и мониторинга за состоянием окружающей среды и плантации

### III.3.1. Мелиоративные мероприятия

Мелиоративные работы при плантационном выращивании водорослей, делятся на две группы: часть проводится регулярно с периодичностью в 2-4 недели, а часть по мере необходимости, обычно, при повреждении элементов плантации.



Рис. 9. Плантация-биофильтр в губе Оленья (апрель – 2008 г.). На выходе из губы – стоянка кораблей военно-морского флота – один из источников загрязнения

Мелиоративные работы проводились на протяжении всего проекта. Они заключались в подтягивании горизонтальных канатов для ликвидации слабины, возникающей из-за увеличения нагрузки на канаты: увеличение биомассы фукусовых и ламинариевых водорослей в весенне-летний периоды, появление обрастателей. Для поддержания плавучести канатов, сигнальных вех осуществлялось крепление дополнительных куктылей. Всего для этих целей

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

было дополнительно закреплено на плантации около 100 кухтылей. После штормов осуществлялась ликвидация перехлестов канатов во избежание перетиранья водорослей. В результате зимних штормов часть растений фукусов были выбиты из субстрата (горизонтальных канатов), в эти места были вплетены новые растения. Важным элементом мелиоративных мероприятий было удаление обрастателей, мешающих развитию проростков ламинарии.

### III.3.2. Мониторинг

#### III.3.2.1. Анализ изменений водной среды в районе РУ в период существования плантации

Наблюдения за температурой, прозрачностью воды, химическим составом в период проведения проекта не показали существенных отклонений в сезонных изменениях выше указанных характеристик от аналогичных показателей в других губах Баренцева моря. Различия отмечены лишь в степени опреснения поверхностного слоя воды в весенне-летний период, которое определяется как незначительное: в центральной части до 33,2, а в кутовой части губы Оленья до 29,5 единиц солености, из-за небольшого количества пресноводных стоков.

Сразу после постановки плантации методом гипсовых шаров была исследована гидродинамика в районе РУ. В июне месяце были осуществлены повторные измерения движения воды на плантации.

Проведенные измерения, так же, как и предыдущие замеры выявили нелинейное возрастание гидродинамической активности по мере приближения к поверхности воды. Подобная картина гидродинамической неоднородности по вертикальному профилю плантации была выявлена на всех точках, где проводились измерения.

В целом, как и после предыдущих измерений, в месте размещения плантации можно выделить верхний метровый слой воды, который по гидродинамической активности значительно превосходит нижележащие слои. Таким образом, общая схема конструкции плантации с размещением основной массы водорослей в гидродинамически наиболее активном слое представляется удачной, если учесть стимулирующий эффект, оказываемый движением воды на продукционные и метаболические параметры макрофитов.

Более детальное сопоставление полученных результатов с первоначальными измерениями выявляет некоторые отличия. Общий уровень подвижности воды в месте

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

размещения плантации в июне оказался несколько ниже, чем в ноябре, что представляется закономерным.

Снижением гидродинамики, отчасти за счет расположенной в зоне плантации плавмастерской «Шабер», можно объяснить значительно большее накопление нефтепродуктов водорослями, расположенными в «кутовой» части плантации. В этой зоне также значительно выше и содержание взвешенных веществ.



Рис. 10. Подготовка к проведению мониторинга за гидродинамикой методом гипсовых шаров

Особое внимание было уделено анализу содержания нефтепродуктов. Если в осенне-зимний период отмечалось незначительное превышение ПДК, то в конце апреля, по-видимому, из-за усиления судоходства в районе плантации содержание нефтепродуктов превысило пятикратное значение ПДК. В июне-августе месяце поверхность губы Оленья оказывалась достаточно часто затянутой нефтяной пленкой в результате поступления на акваторию большого объема нефтепродуктов. При восточных ветрах нефтяную пленку приносило из Екатерининской гавани, но основным источником загрязнения было выброшенное на берег бухты Безымянной аварийное судно, откуда в губу Оленья вылилось более тонны нефтепродуктов.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Визуальные наблюдения, анализ фотографий, выполненных в разных частях плантации в июне-августе, показал, что у внешней линии плантации локализуется значительно больше НП, чем у внутренней. У внешнего каната наблюдаются НП на разной стадии преобразования: от пленки, дающей блики всех оттенков до пены. У внутреннего каната на поверхности воды видны небольшие пятна НП.

Содержание НУВ в воде в районе РУ после июньских выбросов нефтепродуктов в губу более чем в 100 раз превышало ПДК (табл. 7).

Таблица 7. Содержание НУВ в воде в районе РУ (мг/л)

Время отбора проб	20.11.07	21.12.07	25.02.08	23.04.08	23.06.08	30.08.09	ПДК
Концентрация	0,03	0,09	0,12	0,16	8,0	7,2	0,05

Анализ гидродинамики с использованием описанного выше метода гипсовых структур показал, что за 14 суток поток через СВП только по причине возникновения приливно-отливных течений не менее 28 раз изменял направление движения. При этом нефтяное пятно то откатывалось от СВП, то вновь накрывало ее. Более того, та часть нефтепродуктов, которая до этого оказывалась «в тылу» СВП, имела возможность вернуться и осесть на фукус в тыловой части. Таким образом, за счет реверсивных процессов обтекания СВП, в поверхностных модулях происходит перераспределение НП и усиливаются процессы усвоения НУВ в менее загрязненных зонах.

Взаимодействия СВП с водной средой целиком зависит от характеристики погодных условий, которые оказывают существенное влияние на гидродинамику, в частности, на приливные течения со свойственным для Кольского побережья полусуточным характером. В табл. 8 приведены данные изменения скорости движения водных масс внутри СВП, полученные в межприливный период, когда течение в бухте формировалось под действием сравнительно слабого ветрового нагона при волнении моря не более 1 балла.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Таблица 8. Пример изменения скорости течения в зависимости от глубины и удаления от входного сечения СВП

Участки СВП	Глубина установки датчиков, м	Расстояние от входного сечения СВП до места установки датчика скорости (м) и скорость потока (см/с)			
		0	5	10	15
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Прибрежный (внутренний)	0,2	32,5	27,5	26,6	16,1
	3,0	19,5	19,6	15,0	13,0
	7,0	14,5	22,8	14,7	9,2
	10,0	14,3	17,3	-	-
Удаленный от берега (внешний)	0,2	58,5	23,8	28,3	12,2
	3,0	52,3	17,6	20,2	9,3
	7,0	45,2	14,8	22,2	10,5
	10,0	38,8	14,9	-	-

Направление течения в районе установки СВП не является постоянным, что связано с изменением приливной и ветровой составляющих, векторы которых обычно разнонаправлены. В случае усиления ветра и увеличения волнения на фоне прилива одномерный характер взаимодействия среды с СВП сменяется на более сложный. Появляются восходящие потоки, изменяется направление движения вод с глубиной, усиливается нагрузка на водоросли, возникает турбулентность, в результате которой талломы не просто отклоняются по течению, но включаются в колебательные процессы с горизонтальной и вертикальной составляющими. Все это усиливает перенос НП и выравнивает распределение загрязнителей по всему объему СВП.

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## III.3.2.2. Анализ изменений биоты на плантации в период ее существования

### III.3.2.2.1. Фукус пузырчатый

#### *Морфо-функциональные характеристики*

В зимний период у фукусовых водорослей отсутствует рост, дыхание превалирует над фотосинтезом, причем последний регистрируется только изотопным методом. В феврале месяце с увеличением фотопериода у фукусовых водорослей наблюдаются признаки ростовой активности, уровень фотосинтеза выше, чем в октябре-ноябре при постановке плантации. В марте-апреле наблюдается увеличение относительной скорости роста фукусов, прирост длины за 2 месяца (март, апрель) составил 9 мм. Увеличение длины сопровождалось появлением новых апексов. Масса отдельных особей выросла за анализируемый период в среднем на 0,3 г.

При произрастании в условиях плантации у растений отмечался более интенсивный прирост массы таллома, чем у водорослей с литорали. В мае-июне месяце у плантационных растений масса таллома увеличилась в 5.4 раза и достигла 9-11 г, у литоральных в 3 раза. Длина изменилась у растений незначительно, в среднем в 1.2-1.4 раза. Количество дихотомических ветвлений, образовавшихся за данный период, варьирует от 1 до 4, в единичных случаях фиксируется формирование 6-7 ветвлений. Достоверных различий по длине между плантационными и литоральными растениями не выявлено. Вместе с тем, количество боковых ответвлений («кустистость») у плантационных растений значительно выше, что может объяснять различие в массе у плантационных и природных растений фукуса при схожести их длины.

В августе-сентябре месяце средняя масса талломов фукусов на плантации в возрасте 3-4 года равняется 16 г.

#### *Микробиологические исследования*

В зимне-весенний период (декабрь-апрель) количество бактерий в воде и на поверхности фукуса не изменилось по сравнению с аналогичными показателями, выявленными в период постановки плантации.

В июне месяце количество бактерий на поверхности фукуса значительно выше, чем на предыдущих этапах эксперимента.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Численность сапротрофных бактерий на фукусе, взятом для анализов с внешнего каната – «грязный» фукус, на 1-2 порядка выше, чем на фукусе исходного варианта – «чистый» фукус. Численность углеводородокисляющих бактерий на «грязном» фукусе на 2-3 порядка выше, чем на «чистом». Близкие значения по численности бактерий в воде и на поверхности водорослей отмечены и в августе.

Таблица 9. Численность УВ-окисляющих планктонных и эпифитных бактерий (на поверхности фукуса-плантационного) в период эксперимента

Время отбора проб		20.11.07	21.12.07	25.02.08	23.04.08	23.06.08	30.08.08
Численность УВ- окисляющих бактерий	Планктонные, (кл/мл)	4000	2000	2000	30000	68000	74000
	Эпифитные, (кл/см <sup>2</sup> )	6000	5000	3500	5000	72000	79000

### ***Биохимические исследования***

С ноября по апрель у водорослей наблюдалось снижение содержания полисахаридов: с 22% до 10% альгината и с 13% до 4% фукоидана. С апреля по июнь накопления полисахаридов у фукусовых водорослей также не отмечалось. В августе-сентябре месяце наблюдалось увеличение содержания углеводов в тканях водорослей: альгината до 20%, фукоидана до 16%. Расчет велся на сухую массу. Содержание полисахаридов у водорослей с плантации аналогично показателям у одновозрастных водорослей из природных зарослей. Динамика изменений содержания углеводов укладывается в предложенную ранее теорию взаимосвязи изменений морфо-функциональных, биохимических показателей с направленностью генеральной жизненной функцией (ГЖФ) растения (Титлянов и др., 1987; Воскобойников, 2006). В августе ГЖФ направлена на подготовку к переживанию растения в зимний период в темноте, к превалированию дыхания над фотосинтезом, соответственно идет накопление углеводов. В зимний период углеводы расходуются на дыхание для сохранения жизнеспособности, а в весенне-летний период, когда ГЖФ направлена на рост таллома, происходит расходование углеводов для покрытия энергетических затрат на синтетические процессы.

### ***Исследование содержания нефтепродуктов***

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

По содержанию НУВ в водорослях, проанализированных с момента постановки плантации, в декабре, в феврале и в апреле достоверных отличий не отмечено. Резкое увеличение содержания нефтепродуктов у фукусов выявлено в июне месяце после поступления большого количества НП в губу Оленья.



Рис. 11. Поверхностные слои морской воды очищаются от нефтепродуктов с помощью фукуса

При визуальном осмотре в июне месяце было видно, что поверхность фукусовых водорослей покрыта слоем нефтепродуктов, часть из которых при поднятии каната стекала с поверхности водорослей вместе с водой, а часть оставалась на поверхности водорослей. При соприкосновении с поверхностью водорослей руки покрывались слоем нефтепродуктов, от водорослей исходил специфический запах.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Исследования показали, что массовая доля НУВ в «грязных» водорослях (снятых с плантации – внешний канат) 6956 мг/кг, из них 3238 мг/кг находилось на поверхности, а 3718 мг/кг в ткани.

Фукусы на горизонтальных канатах внутренней линии плантации подвергались меньшему воздействию нефтепродуктов, соответственно меньше оказалось их накопление: 3420 мг/кг. Наблюдения, продолженные в августе-сентябре месяце, также показали высокое содержание НУВ в водорослях (табл. 10).

Таблица 10. Содержание НУВ в фукусовых водорослях на плантации в период эксперимента (мг/кг) сырой массы

Время отбора проб	20.11.07	21.12.07	25.02.08	23.04.08	23.06.08	30.08.09
Концентрация нефтепродуктов в водорослях (внешний канат)	2,134	1,80	1,76	2,24	6956	6700
Концентрация нефтепродуктов в водорослях (внутренний канат)	2,134	1,72	1,74	2,0	3420	1180

Образцы фукусовых водорослей для подтверждения их способности усваивать (включать в процессы метаболизма) углеводородные фракции нефтепродуктов, собранные с внешнего каната СВП (кутовой зоне губы Оленья), и контрольные образцы фукуса, взятые в относительно чистых от нефтепродуктов местах литорали этой же бухты (мористая часть), были доставлены для детального анализа в сектор хроматографии и хромато-масс-спектрологии ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, СПб. В лабораторных условиях была оценена возможность ассимиляции НУВ.

Результаты анализа приведены в табл. 11.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Таблица 11. Ассимиляция НУВ образцами водорослей вида *Fucus vesiculosus*

№№ п/п	Место и дата взятия пробы, продолжительность эксперимента	Содержание НУВ на поверхности и в тканях водорослей СВП		
		Суммарная массовая доля мг/кг	Удалено с поверхности водорослей, мг/кг	Выделено из тканей мг/кг
1	2	3	4	5
1	Проба № 1. Чистый район (губа Оленья, 24.06.08),	Следы	0	<50
2	Проба № 2. Плантация- биофильтр, сутки после взятия (25.06.08)	6956	3228	3718
3	Проба № 2. Через 7 суток эксперимента (02.07.08)	1084	832	252
4	Проба № 2. Через 14 суток эксперимента (09.07.08)	807	25	782

Примечание: В процессе эксперимента водоросли выдерживались в охлаждаемой камере при температуре 6 °С и влажности 98 %.

По результатам эксперимента можно сделать вывод о нелинейном характере снижения общего количества углеводов, находящихся на поверхности фукусовых водорослей. При этом скорость ассимиляции НУВ фукусовыми падает по мере снижения общей массы поверхностного загрязнения талломов водорослей с одной стороны, и по мере насыщения их тканей продуктами переработки, с другой. Т.е., по-видимому, существует порог насыщения водорослей нефтепродуктами, однако через определенное время после его достижения, благодаря способности включать поглощенные НУВ в метаболизм, водоросли становятся вновь способными к поглощению НУВ.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Приведенные данные подтверждают факт усвоения фукусовыми водорослями углеводов нефти и, следовательно, возможность использования последних для переработки поверхностных пленок нефтепродуктов.

Эти данные позволяют проводить предварительные расчеты скорости усвоения фукусом НУВ, что важно для оценки параметров СВП. Из таблицы следует, что за первые 7 дней выдержки образцов водорослей в условиях термокамеры, преобразовано 3466 мг/кг НУВ при средней скорости преобразования 495 мг/кг/сутки. Для последующей недели хранения отмечается значительное снижение скорости преобразования, так как переработано было всего 252 мг/кг НУВ при средней скорости 36 мг/кг/сутки.

### III.3.2.2.2. Ламинария сахаристая

#### *Морфо-функциональные характеристики*

По описанной ранее технологии при постановке плантации нами был проведен посев спор ламинарии на вертикальные канаты-поводцы. В процессе реализации проекта осевшие споры прошли стадии развития от прорастания до молодых спорофитов: растений в несколько сантиметров. Средняя масса талломов ламинарии, развившихся из осевших спор в ноябре 2007 г. и достигших стадии молодых спорофитов, составила на конец августа:  $26 \pm 9,2$  г, длина пластины: 32 см, ширина 9, площадь  $288 \text{ см}^2$ . Их среднее число в конце августа - начале сентября составило на 1 поводце 150 штук.

Помимо спор в канаты-поводцы в апреле месяце были вплетены, взятые водолазами с глубины 5-7 метров на выходе из губы Оленья, спорофиты ламинарии в возрасте 0+ (сеголетки). Молодые спорофиты успешно прошли адаптацию на плантации. С апреля по июнь их масса увеличилась в 4 раза, ширина в 1.5, а длина в 2 раза. Фотосинтез у ламинарии за период существования на плантации вырос в 2 раза, составил  $0,48 \text{ мгС/г сырого веса в час}$ . В августе-сентябре средняя масса талломов ламинарии, развившихся из вплетенных молодых спорофитов, составила:  $290 \pm 36,2$  г (сырой вес), длина пластины:  $98 \text{ см} + (135+75)$ , ширина: 25 см, площадь:  $2450 \text{ см}^2$

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

### *Содержание нефтепродуктов*

В апреле месяце при закреплении молодых спорофитов на субстраты плантации содержание НУВ в них было 0,08 мг/кг, т.е. незначительно выше ПДК для морской воды. В июне же и в августе месяце после нефтяных разливов содержание НУВ в ламинарии на плантации было весьма значительно: 725 мг/кг, хотя и меньше, чем у фукусовых водорослей. К сожалению, определить долю нефтепродуктов на поверхности таллома и внутри не удалось, что связано с методическими сложностями.



Рис. 14. Визуальный анализ состояния талломов ламинарии

### *Биохимические показатели*

Анализ углеводов у ламинарии проводился в июне и в конце августа.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

В июне обнаружено альгината - 16%, маннита - 12%. В августе-сентябре месяце наблюдалось увеличение содержания углеводов: альгината до 26%, маннита до 22%. Расчет велся на сухую массу. Как мы отмечали выше, накопление углеводов осенью осуществляется эндогенной регуляцией, связано с ГЖФ растения: подготовкой к возможному спороношению и нахождению в условиях полярной ночи.

### III.4. Обобщение и оценка результатов

#### III.4.1.1. Уборка водорослей и утилизация

Уборка водорослей, передача их на утилизацию и переработку проводилась в период с 15 по 30 сентября 2008 г.

#### **Фукус**

К моменту завершения проекта количество растений фукуса на плантации в возрасте 3-4 года составляло: 12600 шт. Общая масса фукуса на плантации составила: 201,6 кг.

На горизонтальных канатах присутствовало большое количество проростков фукуса, которые не учитывались при расчетах.

Пилотный проект, осуществленный в акватории, подверженной загрязнению нефтепродуктами, продемонстрировал, что фукусовые водоросли, непосредственно контактирующие с поверхностной пленкой-нефтепродуктов, ограничивая ее распространение, постоянно загрязнены НП. Также загрязнены и канаты, в которые вплетены водоросли, поэтому нет большого смысла оставлять канаты для повторного использования.

Водоросли срезались с канатов, упаковывались в полипропиленовые мешки объемом 100-200 л. Опыт показал, что можно канаты с фукусами разрезать на фрагменты и упаковывать в полипропиленовые мешки фрагменты канатов с водорослями.

Проведенные анализы выявили нефтепродукты в высоких концентрациях на поверхности водорослей и в тканях. Собранный загрязненный фукус был передан (80% талломов) для утилизации (сжигания) (80% талломов), а часть загрязненных нефтепродуктами растений ФП массой около 35 кг и влажностью 35% были переданы для сушки в целях дальнейших исследований технологии переработки. После сушки фукус (влажностью 5-8%) был использован для проведения химических анализов и отработки технологий эффективного использования.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Опыт сбора загрязненных фукусовых водорослей показал:

1. Рекомендуется при сборе использовать 200-литровые полипропиленовые мешки, сбор осуществлять в резиновых перчатках, устойчивых к органическим соединениям.
2. При сборе водорослей в грузовое судно (без предварительной упаковки в мешки), дно и борта рекомендуется устилать сетью-делью, а поверх нее полиэтиленовой пленкой, во избежание загрязнения корпуса судна нефтепродуктами.
3. Собранные растения доставляются на берег и передаются на утилизацию. Эффективным способом утилизации является сжигание в печах. Утилизация через сушку загрязненных водорослей с последующим изготовлением из них топливных брикетов оказалась экономически не выгодной. Также малую рентабельность показали попытки очистки фукусов от нефтепродуктов для дальнейшего использования. При осуществлении пилотного варианта проекта загрязненные фукусовые водоросли передавались ООО «МОНОГАР» для дальнейшей утилизации на Мурманском мусоросжигательном заводе.

### *Ламинария*

Ламинарию собирали с поводцов горизонтального (ближнего к берегу) каната. Также с него и с поводцов второго (наружного) горизонтального каната был выполнен выборочный отбор проб для дальнейшего анализа морфофункционального состояния, химического состава водорослей, а также бактерий на поверхности водорослей.

Количество растений ламинарии на плантации в возрасте 1+ к концу эксперимента составило: 9200 шт. Общая масса ламинарии в возрасте 1+ на плантации составила: 2668 кг. Общая площадь поверхности (двухсторонняя) ламинарии в возрасте 1+ составила: 9016 м<sup>2</sup>

Количество растений ламинарии на плантации в возрасте 0+ составило: 30000 шт. Общая масса ламинарии в возрасте 0+ на плантации составила: 780 кг. Общая площадь поверхности (двухсторонняя) ламинарии в возрасте 0+ составила: 1059,84 м<sup>2</sup>

На основании размерно-массовых показателей определялся потенциальный урожай.

Ламинария сахаристая - в объеме 2668 кг влажностью 90% была передана для сушки, а затем (влажностью 10-12%) общей массой 330 кг для проведения анализов содержания моно- и полисахаридов, экологической чистоты и отработки технологий эффективного использования.

При сборе оставляли на плантации молодые растения ламинарии, а также 1-2 взрослых спороносящих растения на 10 м протяженности горизонтального каната (т.е., на каждом

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

десятом поводце), что обеспечивает самозасев спорами ламинарии всех поводцов (субстратов) на плантации.

Сбор водорослей проводился с помощью мотолодки «Дори», оборудованной лебедкой, и грузового карбаса, так как уборка ламинарии – процесс достаточно трудоемкий, требующий минимальной механизации. Значительно облегчает процесс наличие грузового плавсредства, дно и борта которого закрыты грузовой сетью-делью. Талломы ламинарии срезали с поднятых из воды поводцов на застеленную в грузовом карбасе дель. В этом случае, при наличии на берегу или на борту судна лебедки или другого подъемного устройства значительно облегчается транспортировка ламинарии с борта грузового судна на берег.



Рис.15. Сушка фукуса и ламинарии для проведения анализов при активной вентиляции

Водоросли доставлялись на берег, где анализировались размерно-массовые показатели, сухой вес, степень и характер обрастания, а также шла подготовка сырья (подвялка, сушка) для определения содержания полисахаридов, тяжелых металлов, нефтепродуктов.

Часть плантации водорослей была убрана в связи с возможными помехами судоходству. Часть же (0,25 га) была передана представителю СРЗ «Нерпа» ООО «Биофриз» в рамках

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

развития пилотного проекта: для проведения дальнейших работ по оценке использования плантации-биофильтра для очистки прибрежных акваторий от загрязнения нефтепродуктами.

### **III. 4.1.2. Рекомендации по переработке чистых водорослей для получения товарного сырья**

В настоящее время для морских макрофитов ПДК по содержанию нефтепродуктов отсутствуют как у нас в стране, так и за рубежом. Вместе с тем, в монографии В.А. Тутельяна с коллегами (1999), посвященной использованию БАД, в том числе на основе морских гидробионтов, включая водоросли, в лечебно-профилактической практике, приводятся данные, что содержание НУВ в БАДах не должно превышать 0,1 мг/кг.

#### *Переработка фукусовых водорослей*

Одно из основных назначений плантации-биофильтра - профилактическая очистка акватории от постоянного загрязнения, незначительно превышающего ПДК. Поэтому вполне возможна ситуация, когда при отсутствии длительного загрязнения в высоких концентрациях, содержание нефтепродуктов в фукусовых водорослях также незначительно, что создает возможность их использования в качестве сырья для получения БАД. В таком случае можно дать следующие рекомендации по переработке:

1) Сбору для дальнейшей переработке подлежат фукусовые водоросли старше 5-6 лет, у которых метаболическая активность, а следовательно и коррелирующая с ней активность по включению НУВ, снижаются.

2) Собранные водоросли предварительно подвяливаются на улице, разложенные на каменном или травяном покрытии.

3) Необходимо переворачивание водорослей через каждые 8-12 часов. При таких условиях водоросли можно просушить до влажности 23-25%.

4) Для достижения влажности 12-14%, а только такая влажность обеспечивает длительное хранение водорослей, рекомендуется дальнейшая сушка при активном вентилировании. Ее желательно проводить при температуре до 60-70<sup>0</sup> С. Необходимым условием является отсутствие слипания водорослей. При хранении измельченных водорослей, имеющих влажность более 14% , на их поверхности развиваются микроорганизмы, приводящие к потере товарного качества сырья, его разрушению.

5) Высушенные водоросли измельчают на дробилках до крупки 0,2-0,5 см

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

6) Пакуют в чистые крафт-мешки по 16 кг.

7) Упакованное в таком виде сырье хранится в сухом помещении и передается потребителям для дальнейшей переработки.

### *Переработка ламинариевых водорослей*

1) У доставленных на берег талломов ламинарии на рабочем столе пластины отделяют от стволиков. Пластины очищают от обрастателей.

2) Пластины развешиваются на вешалах, либо раскладываются на каменном или травяном покрытии для подвялки на 1-3 суток. В процессе подвялки необходимо переворачивать пластины.

3) В связи с тем, что в условиях побережья Баренцева моря на воздухе довести собранную ламинарию до сухого состояния практически невозможно, водоросли после подвялки сушатся в закрытом хорошо вентилируемом помещении до влажности 12-14%. В процессе сушки используют тепловентиляторы.

4) По такой же схеме подсушивают стволики.

5) В настоящее время для окончательной сушки ламинарии используется несколько моделей сушилок, в том числе инфракрасные. Необходимо отметить, что их использование становится эффективным и рентабельным при предварительной подвялке водорослей.

6) Далее пластины ламинарии либо измельчают на дробилках, мельницах до разноразмерной крупки, либо на дезинтеграторе до пудры-порошка.

7) Производится упаковка пудры-порошка во внутренние полиэтиленовые пакеты и внешние крафт-мешки, разноразмерной крупки в крафт мешки. Хранение осуществляется в сухом помещении. Стволики упаковываются в крафт-мешки.

8) При сушке и хранении необходимо учитывать, что ламинария обладает высокой степенью гигроскопичности.

9) Ламинарию в виде пластин, крупки или порошка передают потребителю для дальнейшей переработки на пищевые добавки, использование в роли сырья для фармацевтики, биотехнологии.

Морские водоросли, передаваемые для переработки, должны соответствовать гигиеническим нормативам (СанПин, МДУ, ПДК и т.д.):

СанПин 2.3.2.560-96

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

КМАФАнМ, КОЕ/гр. – не более  $5 \cdot 10^4$

БГКП (колиформы) в 1 гр. – не допускается;

Патогенная микрофлора, в т.ч., в 25 гр.ч. сальмонеллы – не допускается

Плесени, КОЕ/гр. – не более 100;

Свинец - не более 0,5 мг/кг

Кадмий – не более 2,0 мг/кг

Мышьяк – не более 5,0 мг/кг

Медь – не более 30 мг/кг

Цинк – не более 200,0 мг/кг

Ртуть – не более 0,1 мг/кг

Цезий-137 – не более 200 Бк/кг

Стронций-90 – не более 100 БК/кг

Ни по одному из показателей превышения ПДК токсическими элементами в исследованных водорослях не отмечалось:

Результаты исследования:

	Ламинария сахаристая	Фукус пузырчатый
КМАФАнМ, КОЕ/гр.	0	0
БГКП (колиформы) в 1 гр.	В 1,0 гр. не обнаружено	
Пат. микрофлора, в т.ч., сальмонеллез	В 25 гр. не обнаружено	
Плесени, КОЕ/гр. – не более 100	не обнаружено	
Свинец - не более 0,5 мг/кг	0,36 мг/кг	0,24 мг/кг
Кадмий – не более 2,0 мг/кг	1,8 мг/кг	1,0 мг/кг
Мышьяк – не более 5,0 мг/кг	4,1 мг/кг	2,4 мг/кг
Медь – не более 30 мг/кг	18 мг/кг	24 мг/кг
Цинк – не более 200,0 мг/кг	180 мг/кг	120 мг/кг
Ртуть – не более 0,1 мг/кг	менее 0,1 мг/кг	
Цезий-137 – не более 200 Бк/кг	46,2 Бк/кг	20,4 Бк/кг
Стронций-90 – не более 100 БК/кг	32,4 Бк/кг	26,2 Бк/кг

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

В настоящее время наиболее рентабельной является комплексная переработка бурых водорослей, включающая в себя экстракцию целой группы биологически активных веществ (БАВ), являющихся основой для ряда медицинских препаратов, биологически активных добавок (БАД).

Проведенный анализ сырья - сухих водорослей, после плантационного выращивания, выявил следующий химический состав (табл. 12):

Табл. 12. Химический состав ламинариевых и фукусовых водорослей (чистых), собранных с плантации-биофильтра (сентябрь – 2008 г)

Виды Водорослей	Содержание, % абс. Сух. масс.								
	альгиновой кислоты	ламинарана	Фукоидана	маннита	органических веществ	минеральных веществ	азотистых веществ	Йода	Клетчатки
<i>L. saccharina</i>	18-26	12-14	6-8	20-22	55-68	27-35	8-14	0,12-0,24	15-16
<i>F. vesiculosus</i>	17-21	0,5- 1,0	12-16	6-9	56-72	18-22	4-13	0,10-0,12	8-10

По большинству показателей выращенные на плантации водоросли близки с одновозрастными талломами, произрастающими на природных субстратах в акватории губы Оленья (место реализации проекта) и близких к ней.

### III.4.2. Дополнительные эксперименты, подтверждающие эффективность технологии по использованию симбиотической ассоциации: бурые водоросли и углеводородокисляющие микроорганизмы для очистки морской среды от загрязнения нефтепродуктами

Изучение работы пилотной СВП *in situ* было достаточно трудоемким с учетом комплекса абиотических факторов на побережье Баренцева моря: изменения температуры, силы и направления ветра, ветровые течения и волнения, приливно-отливная составляющая, достигающих иногда экстремального уровня. В моменты относительного спокойствия морской поверхности можно отбирать пробы размещенных в модулях СВП растений, получать результаты обязательных гидродинамических измерений, осуществлять отбор проб воды для

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

гидрохимических анализов. В связи с этим, были проведены дополнительные исследования, подтверждающие эффективность СВП, с использованием лабораторной базы ММБИ КНЦ РАН в Мурманске и на биостанции ММБИ в Дальних Зеленцах, Москве (МГУ) и Санкт-Петербурге (ВНИИМ).

Проведенные исследования были посвящены микробиологическим показателям: заселенность фукуса и ламинарии УО-микроорганизмами, их окисляющая способность и интегральным показателям очистки морской воды от НП фукусовыми водорослями.

Результаты, приведенные в табл. 13, позволяют оценить относительную роль фукуса и ламинарии в процессах окисления НУВ микроорганизмами, сосредоточенными на поверхностях талломов.

Таблица 13. Заселенность фукуса и ламинарии УО-микроорганизмами

Объект исследования	ММС (УВ-окисляющие бактерии)			Среда Зобелла (сапротрофные бактерии)		
	Рост	НВЗ, кл/мл	НВЗ, кл/см <sup>2</sup>	Рост	НВЗ, кл/мл	НВЗ, кл/см <sup>2</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
ВГ вода (загрязненная вода от причала)	10 <sup>1</sup> 10 <sup>1</sup>	50		10 <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup>	1200	
ВЧ вода (чистая вода, взятая из чистого места у берега)	10 <sup>2</sup> 10 <sup>1</sup>	120		10 <sup>2</sup> 10 <sup>3</sup>	1200	
ФЧ-2р (фукус из чистого места, 2 повторности)	10 <sup>1</sup> 10 <sup>1</sup>		125	10 <sup>3</sup> 10 <sup>2</sup>		2987
ФГ-1р (грязный фукус от причала 1 повторность)	10 <sup>3</sup> 10 <sup>2</sup>		1728	10 <sup>4</sup> 10 <sup>4</sup>		71984
ЛЧ-1р (чистая ламинария от бочки 1 повторность)	10 <sup>2</sup> 10 <sup>1</sup>		150	10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup>		313
ЛГ-1р (загрязненная ламинария от причала 1 повторность)	10 <sup>1</sup> 10 <sup>2</sup>		150	10 <sup>3</sup> 10 <sup>2</sup>		1500

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Примечание: - ММС – морская минеральная среда, НВЗ – наиболее вероятное значение; - в дальнейших расчетах используются данные столбца 4.

Выявлено, что число клеток бактерий на поверхности таллома ламинарии может достигать  $6250 \text{ кл/см}^2$ , в том числе углеводородокисляющих  $150 \text{ кл/см}^2$ . С учетом средней площади пластины двухлетней ламинарии на Баренцевом море  $3600 \text{ см}^2$ , общее количество бактерий на двухсторонней пластине достигает  $22500000 \text{ кл.}$ , в том числе углеводородокисляющих  $540000 \text{ кл.}$  Соотношение между количеством УО-микроорганизмов на талломах фукуса и ламинарии отличаются примерно в 11 раз в пользу фукуса.

Сравнительные исследования продемонстрировали превышение данных показателей более чем в четыре раза у ламинарий из загрязненных мест обитания, по сравнению с ламинариями из чистых мест. Надо отметить, что в реальных условиях некоторое количество таких бактерий сосредоточено в пограничном слое пластины, составляющем в зависимости от ее размеров и скорости обтекания от нескольких миллиметров до 2 см.

Результаты, приведенные в табл. 13-14 позволяют оценить окисляющую способность УО-микроорганизмов как на фукусе, так и на ламинарии. Вполне вероятно, что в реальных системах эти показатели для фукуса и ламинарии отличаются в пользу одного из видов, однако в первом приближении нам остается только принять это предположение за основу вплоть до проведения дополнительных исследований. Ошибка, следующая из этого предположения, может привести только к занижению конечного результата, что в процессе предварительных исследований вполне оправдано.

Следующим шагом эксперимента было определение окисляющей способности эпифитных УО-микроорганизмов, субстратом для которых являются талломы водорослей. Эксперимент включал обработку талломов фукуса ультразвуком для десорбции бактерий. Талломы массой  $1,78 - 1,90 \text{ г}$  обмывали стерильным 3 % раствором хлористого натрия, помещали в стерильный стеклянный стакан на 100 мл, содержащий 50 мл стерильной минеральной среды ММС, и подвергали ультразвуковой обработке. Затем очищенный фукус удаляли из стакана, а его содержимое переливали в качалочный стакан объемом 0,5 л, содержащий 150 мл среды ММС, куда затем вносился 1 мл (0,76 г) стерильного дизельного топлива (ДТ), имитировавшего НП.

Колбы помещали на качалку и инкубировали при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 3-х недель, после чего экстрагировали остаточное ДТ четыреххлористым углеродом, отстаивали в

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

течение суток, сливали нижний слой экстрагента и анализировали на спектрофотометре. Результаты анализа приведены в табл. 14.

Таблица 14. Лабораторные исследования окисляющей способности нативных УО-микроорганизмов

№№ п/п	Образец	Масса образца фукуса, г	Остаток ДТ в стакане, мг/л	Потребление ДТ, %
1	2	3	4	5
1	Фукус чистый	1,80	4000	40,0
2	Фукус чистый	1,78	3800	42,0
3	Фукус загрязненный	1,76	3300	49,0
4	Фукус загрязненный	1,94	3300	49,0
5	Фукус загрязненный	35,0	0,174	63,0

Примечание: - в качестве образца НП использовалось стерильное дизельное топливо (ДТ) при начальной концентрации в сосуде 6500 мг; - эпифитные УО-микроорганизмы получены путем десорбции с поверхности водорослей вида *Fucus vesiculosus*; - опыт 5 проводился в отличных от опытов 1-4 условиях, путем помещения фукуса из загрязненного района моря в 100 мл раствора ДТ с его начальной концентрацией 0,316 мг/л.

На основе данных табл. 14 можно сделать вывод о способности эпифитных микроорганизмов к деструкции НП в условиях лабораторного эксперимента. Максимальное потребление ДТ бактериями в течение 3 недель экспозиции составило 49 % от контроля. При этом, УВ-окисляющие микроорганизмы, обитающие на талломах фукуса, взятого в загрязненных НП точках акватории, потребляют на 7 – 9 % ДТ больше, чем их аналоги, обитающие на фукусе, извлеченном на чистом от НП талломе. Последнее подтверждает, что выдержка фукус в среде с повышенным содержанием ДТ повышает его УВ-окислительную активность. Таким образом, очевидно, что предварительная обработка фукуса небольшим количеством ДТ позволяет ускорить вывод бактериальной составляющей процесса окисления НП на «рабочий» режим.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Одним из возможных вариантов подготовки ассоциации «водоросли и УВ-микроорганизмы» к постановке на плантации является предварительное выдерживание канатов с фукусовыми водорослями и УВ-микроорганизмами в бассейнах с загрязненной НП морской водой.

Были проведены серии экспериментов, демонстрирующих возможность поглощения дизельного топлива (ДТ) чистым фукусом (фукус пузырчатый – ФП) при различных концентрациях последнего в среде в бассейнах и в стеклянных сосудах в термостатированном помещении (табл. 15).

Таблица 15. Результаты лабораторного эксперимента по очистке морской воды фукусовыми водорослями (ФП)

Объект/ срок выдержки	Изменение содержания НП в морской воде (мг/л) и водорослях, мг/кг					
	Вода чистая	Вода чистая + ФП	Вода + ДТ	Вода + ДТ + ФП	Вода + ДТ + ФП	Вода + ДТ/ ФП
Опыт	1	2	3	4	5	6
Контроль Вода/Фукус	0,05	0,05	1,54	1,53	6,42	12,24 / 0.165
3 сут.	-	-	-	0,41	1,9	-
7 сут.	0,05	0,034	1,54	0,26 (0,32)	0,72	2,84 / 5,62
14 сут.	0,05	0,03	1,52	0,06 (0,09)		0,09 / 8,68
21 сут.	0,05	0,03	1,54	0,032(0,04)	0,04 (0,8)	-

Примечания: - ПДК содержания НП для морских вод 0,05 мг/л; - использовались талломы водорослей с 6-7 дихотомиями (возраст 3 г); - использовалось «летнее» дизельное топливо; - эксперимент проводился в батарейных стаканах емкостью 3 л на магнитных мешалках при температуре +8-10°C; - после внесения топлива в стакан и интенсивного перемешивания ему давали сутки отстояться, а затем удаляли поверхностную пленку; - значения в скобках в колонках 4 и 5 являются результатом 2-х повторов эксперимента; - в колонке 6 приведены соотношения содержания ДТ в воде и в тканях талломов водорослей.

Результаты этого эксперимента показывают, что в системе вода-ДТ-ФП, в отличие от системы вода-НП-ФП, процесс поглощения существенно ускоряется. Вероятно, это связано с

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

лучшими условиями взаимодействия ДТ и мембран ФП. Правда, в этом случае, так же, как и в случае с пленкой НП на последней неделе эксперимента, скорость переработки ДТ в тканях снизилась: судя по данным столбца 6, за первые 10 суток средняя скорость переработки составляла 0,38 мг<sub>ДТ</sub>/кг<sub>ФВ</sub> /сут., а за последующие 7 суток — 0,31 мг<sub>ДТ</sub>/кг<sub>ФВ</sub>, т.е. примерно на 18 % меньше. Таким образом, тенденция к снижению скорости переработки ДТ в тканях фукуса, так же, как и таковая для НП, проявляется, хотя и не так сильно.

Последние исследования показали, что наибольшей способностью к поглощению ДТ обладают молодые участки талломов фукуса, что, по-видимому, обусловлено более высоким уровнем метаболизма клеток данных участков. Учитывая, что у талломов фукуса старше 5-6 лет наблюдается снижение уровня метаболизма, можно рекомендовать для наиболее эффективной нейтрализации НП использование талломов в возрасте 3-4 года.

В губе Дальнезеленецкой был осуществлен эксперимент по противодействию СВП распространению пленки дизельного топлива из затонувшего у причала судна «Ребекка». В результате аварии дизельное топливо начало поступать в акваторию губы, над местом затопления образовалась постоянная пленка нефтепродуктов, что создало опасность расположенным в губе аквахозяйствам по раздраживанию крабов и конечно же животным и растительным обитателям губы.

Сотрудниками ООО «СИРЕНА» и Мурманского морского биологического института КНЦ РАН (ММБИ), проводивших в губе Дальнезеленецкой (район биостанции ММБИ) эксперименты по возможному противодействию водорослевым плантациям нефтяному загрязнению, были созданы модули СВП (вплетены в канаты растения фукусов, канаты закреплены на якорях) и с их помощью изолировано место аварии – источник распространения пленки нефтепродуктов (рис. 16).

Положительный эффект по удержанию пленки НП был получен и в экспериментах с использованием многорядных модулей (рис. 17). Вместе с тем, и в этом варианте при усилении ветра до 5 баллов, эффективность удержания пленки НП фукусовыми водорослями резко снижается. Возможно, сохранение эффекта можно получить при более густой посадке талломов на субстраты.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---



Рис. 16. Заградительная полоса (плантация-биофильтр) в губе Дальнезеленецкой вблизи источника загрязнения (затонувшее судно «Ребекка») позволила оградить хозяйства аквакультуры по подращиванию крабов от нефтепродуктов

Важным моментом в оценке эффективности СПВ являются полученные в последние годы данные для Баренцева моря (Перетрухина., 2006), и подтвержденные нами, о возможном увеличении на 20% углеводородокисляющей активности микроорганизмов в пограничном слое пластины, прилегающем к поверхности талломов бурых водорослей, по сравнению с нахождением в толще воды. Этот феномен объясняется обогащением водорослями данного слоя кислородом, выделяемым при фотосинтезе, необходимого для активного функционирования микроорганизмов.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---



Рис. 17. Экспериментальный полигон: плантация-биофильтр в губе Дальнезеленецкой

**Анализ результатов, полученных при реализации пилотного проекта «ОЧИСТКА АРКТИЧЕСКОЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ» позволил сделать следующие выводы:**

- 1) Правильность выбора технологической схемы плантации и ее реализации: постановки, соотношения якорей, канатов и наплавов
- 2) Необходимость в процессе культивирования водорослей проведения мелиоративных мероприятий, особенно в весеннее-летний период.
- 3) Возможность водорослевой плантации (при соблюдении технологии постановки) противодействовать распространению нефтепродуктов по поверхности воды, сорбируя их.
- 4) Способность фукусовых водорослей не только сорбировать нефтепродукты на поверхности таллома, но и включать в метаболизм с дальнейшей нейтрализацией.
- 5) Повышение активности углеводородокисляющих бактерий – эпифитов бурых водорослей при нахождении в условиях загрязнения нефтепродуктами, что можно использовать при подготовке СПВ.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

- 6) Возможное увеличение на 20% углеводородокисляющей активности микроорганизмов в пограничном слое пластины, прилегающем к поверхности талломов бурых водорослей, по сравнению с нахождением в толще воды.
- 7) Возможность использовать отдельные модули плантации для изоляции источников загрязнения, для обеспечения экологической безопасности при развитии аквахозяйств в прибрежье Баренцева моря.
- 8) Расчеты утилизации НП водорослями, на основании анализа работы плантации и модельных экспериментов показали, что 1 гектар плантации-биофильтр может нейтрализовать за неделю около 100 кг нефтепродуктов.

### **III.4.3. Оценка экономического эффекта от внедрения технологии и возможности экстраполировать результаты работы на заливы северных, дальневосточных и южных морей России**

Оценка величины предотвращенного экологического ущерба от загрязнения водной среды проводится на основе региональных показателей удельного ущерба, представляющих собой удельные стоимостные оценки ущерба на единицу (1 условную тонну) приведенной массы загрязняющих веществ (Методика ..., 1999).

Расчетные формулы (применительно к одному направлению водоохранных мероприятий) имеют следующий вид:

$$\text{Упр } g_n = \sum (\text{Ууд}j \times \sum M_n k) \times K_{\text{Эг}} \quad (1)$$

где: Упр  $g_n$  – предотвращенный экологический ущерб водным ресурсам в рассматриваемом  $g$ -ом регионе, в результате осуществления  $n$ -го направления природоохранной деятельности по  $k$ -му объекту (предприятию) в течение отчетного периода времени, тыс. руб.;

Ууд $j$  – показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам, наносимого единицей (условная тонна) приведенной массы загрязняющих веществ на конец расчетного периода для  $j$ -го вредного объекта в рассматриваемом  $g$ -ом регионе, руб/усл.тонну. (Принимается по таблице 1 (Методика..., 1999) и для бассейна Баренцева моря Мурманской области составляет 5609,6 руб.)

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

$M_{nk}$  - приведенная масса загрязняющих веществ, не поступивших (не допущенных к сбросу) в  $j$ -й водный источник с  $k$ -го объекта в результате осуществления  $n$ -го направления природоохранной деятельности в  $г$ -ом регионе в течение отчетного периода времени, тыс.усл.тонн

$K_{эг}$  - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основных рек (Принимается по таблице 1 (Методика..., 1999) и для бассейна Баренцева моря Мурманской области составляет 1,0)

Приведенная масса загрязняющих веществ (применительно к водоохранному мероприятию) рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{nk} = \sum m_i K_{эi} \quad (2)$$

где:  $m_i$  – фактическая масса снимаемого (не допущенного к попаданию в водную среду)  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ с одинаковым коэффициентом относительной экологической опасности в результате осуществления каждого водоохранного мероприятия в течение отчетного периода времени, тонн;

$K_{эi}$  - коэффициент относительной эколого-экономической опасности для  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ (Принимается в соответствии с данными таблицы 2 (Методика..., 1999);

$i$  - вид загрязняющего вещества или группы веществ;

$k$  – количество водоохранных мероприятий, не допускающих (снижающих) сбросы загрязняющих веществ в водные источники;

В качестве основы для расчетов приведенной массы загрязнений используются утвержденные значения предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воде водоемов рыбохозяйственного значения (Перечень..., 1999). С помощью ПДК определяются коэффициенты эколого-экономической опасности загрязняющих веществ (как величина обратная ПДК:  $K_{эi} = 1/\text{ПДК}$ ).

Показатель  $m_i$  определяется на основе статистической отчетности предприятий и организаций (форма 2ТП - "Водхоз"), данных гидрохимических лабораторий, аттестованных на право проведения соответствующих анализов, материалов контрольных служб

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

территориальных природоохранных органов и гидрометеорологии, данных лабораторных и экспериментальных исследований отечественных и зарубежных ученых.

Исходные (расчетные) данные для оценки величины предотвращенного экологического ущерба пилотного проекта приведены в таблице 16.

Таблице 16. Исходные (расчетные) данные для оценки величины предотвращенного экологического ущерба

Показатели	Наименование загрязняющего вещества						Сумма
	Cu	Ni	Pb	Cd	Zn	НУВ	
1. ПДКр.х., мг/л	0,001	0,01	0,006	0,005	0,01	0,05	
2. Коэффициент Кэі	1000	100	167	200	100	20	
3. Ксорбции, г/кг							
- максимальный уровень	64	59	207	112	52	1920 г/м <sup>2</sup>	
- принятый в расчет	16	15	52	28	13	960 г/м <sup>2</sup>	
4. Масса снимаемого загрязняющего вещества (m <sub>i</sub> ), т	0,48	0,45	1,56	0,84	0,39	9,6	13,32
5. Приведенная масса (M <sub>пк</sub> ), тыс. усл. тонн	480	45	260,5	168	39	192	1184,5

Показатель Ксорбции по металлам приведен в расчете на один килограмм водорослей, по нефтяным углеводородам – на 1 м<sup>2</sup> плантации за расчетный период (один год)

Масса снимаемого (не допущенного к попаданию в водную среду) i-го загрязняющего вещества (m<sub>i</sub>) определяется следующим образом:

$$m_i = K_{\text{сорбции}} \times V_{\text{л}}$$

где: V<sub>л</sub> – масса водорослей (площадь) плантации.

В расчете принимается (применительно к металлам) 30,0 тонн водорослей и по нефтяным углеводородам 5000,0 м<sup>2</sup> площади плантации.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Величина предотвращенного экологического ущерба от загрязнения водной среды за расчетный период демонстрационного проекта определяется в сумме 6 644,6 тыс.руб. (261,6 тыс. долл. США)

$$\text{Упр гн} = 5609,6 \times 1184,5 = 6644571 \text{ (руб)}$$

Стоимостные нормативные показатели «Методики определения предотвращенного экологического ущерба» установлены на период ее утверждения - 1999 год. По данным Росстата и Минэкономразвития РФ в период 2000 – 2006 годов индекс годовой потребительской инфляции уменьшился с 20,2 % до 9,0 %, суммарный индекс-дефлятор за рассматриваемый период определил рост ценовых показателей в 2,48 раза. Аналогичными были показатели базовой инфляции – снижение среднегодовых показателей с 19,0 % до 8,0 %, суммарный индекс- дефлятор – 2,32 раза.

Исходя из сложившейся рассмотренной выше динамики ценовых показателей нормативный усредненный показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам (Уудг<sub>г</sub>) может быть увеличен не менее чем в два раза. Таким образом, предотвращенный экологический ущерб, рассчитанный на основе средних величин сорбционной способности плантации площадью 0,5 га и массой 30,0 т, составит 13 289,0 тыс. руб. (415,3 тыс. долл. США).

Дополнительным сопутствующим эффектом может рассматриваться утилизация и промышленное использование собранных с плантации ламинариевых водорослей в размере около 450,0 тыс.руб. (15,7- 17,7 тыс. долл. США).

Результаты экспериментов по окислению и переработке нефтепродуктов, позволяющие давать предварительную оценку эффективности СВП для северного варианта, представлены нами в таблице 17. Несомненно, это предварительные данные, уточнять которые необходимо как для приполярного Баренцева моря, так и для морей других регионов, где возникнет интерес к установке подобных сооружений.

Таблица 17. Вариант обобщения результатов расчетов на основе данных экспериментальных исследований моно- и бикультурной СВП

Вариант	Параметры сравнения							
	Глубина заселения	Плотность	Масса растений	Площадь заселения	Плотность	Переработка НП**	Окисление	Суммарный

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

	водоросли, м	заселен ия СВП, ед./м <sup>2</sup>	ий, кг/ м <sup>2</sup>	ЭУМ*, м <sup>2</sup>	заселен ия ЭУМ, Кл/ м <sup>2</sup>	ФП, г/ /м <sup>2</sup> /сут.	НП*** г/ м <sup>2</sup> /сут.	результ ат  г/ м <sup>2</sup> /сут.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Монокультурная СВП, заселенная фукусом	0-0.3	90	27	9	1727х9х х10 <sup>4</sup> = =1,55х10 <sup>8</sup>	13,5	220,0	233,5
Монокультурная СВП, заселенная ламинарией	0,8-6,0	243	120	87	150х87х х10 <sup>4</sup> = =1,3х10 <sup>8</sup>	-	180,0	180,0
Бикультурная СВП, заселенная фукусом и ламинарией	0-03	90	27	9	1,55х10 <sup>8</sup>	13,5	220,0	413,5
	0,8-6,0	243	120	87	1,3х10 <sup>8</sup>		180,0	

Примечание: - ЭУМ – эпифитные углеводородокисляющие микроорганизмы – параметры, отмеченные (\*), указаны для СВП через 1 год после установки опытной плантации, точность оценки ± 15 %; параметр, отмеченный (\*\*), относится к непосредственному включению НП в процессы метаболизма водорослей; параметр, отмеченный (\*\*\*), относится к окислению НП ЭУМ; скорость поверхностного течения 0,5 м/с при содержании НП 1 г/ м<sup>2</sup>

Данные таблицы 17 свидетельствуют о том, что:

1. основной эффект пилотная СВП дает благодаря именно использованию естественной симбиотической ассоциации «водоросли-макрофиты – УВ-окисляющие микроорганизмы»;

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

2. из графы 9 таблицы следует, что эффективность бикультурной СВП почти в 2 раза превышает таковую для монокультурной;

3. процесс усвоения НП фукусом при температуре 2-12 °С составляет лишь около 6 % от общего положительного эффекта, даваемого монокультурным вариантом;

4. основное достоинство монокультурного варианта на фукусе состоит в том, что фукус способен локализовать поверхностное пятно нефтепродуктов и за счет этого создать условия для более эффективного развития УВ-окисляющих микроорганизмов, нежели заглубленная и свободная от пленки НП ламинария;

5. предлагаемый вариант СПВ также может быть использован для очистки от НП на акватории южных морей. Необходимо отметить, что производительность СВП по окислению НП в теплых водах, при температуре воды около 25 °С увеличивается примерно в 5-7 раз, что во многом обеспечивается усилением окисления НП микроорганизмами.

В предлагаемом нами варианте СВП для заселения приповерхностного уровня предлагается использовать фукусковые водоросли, распространение которых соответствует региону ее предполагаемой установки. Выбор вида диктуется его способностью обитать на морской поверхности, выдерживая воздействие ультрафиолетовых составляющих солнечного излучения, распреснения вод, отрицательные температуры в зимний период, воздействие волн и течений. Виды фукусковых, соответствующих задаче, решаемой предлагаемой технологией (плантация-биофильтр), с указанием ареалов и глубин распространения см. табл. 18.

В обсуждаемых вариантах не учтен отмеченный выше дополнительный эффект от увеличения на 20% углеводородокисляющей активности микроорганизмов в пограничном слое пластины, прилегающем к поверхности талломов бурых водорослей, по сравнению с нахождением в толще воды.

Таблица 18. Виды фукусковых водорослей, соответствующие задаче, решаемой предлагаемым изобретением

Море	Вид водоросли	Место произрастания	Ссылка
1	2	3	4
Баренцево	<i>Fucus vesiculosus</i>	Литораль	Кузнецов, Шошина,

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

Белое	(фукус пузырчатый)		2003; Воскобойников, 2006
Охотское Японское	<i>Fucus evanescens</i> (фукус исчезающий)	Литораль Освещенное мелководье	Клочкова, 1998
Азовское Черное	<i>Cystoseira crinita</i> (цистозира волосатая) <i>Cystoseira barbata</i> (цистозира бородатая)	Освещенное мелководье  До глубин 20 м	Блинова, 2007; Калугина-Гутник, 1975

Для заселения нижнего (подповерхностного) уровня плантации предлагается использовать ламинариевые водоросли (табл. 19). Исключение составляет Азово-Черноморский бассейн, где нет ламинариевых, но заменить их предлагается глубоководным представителем фукусовых *Cystoseira barbata*.

Таблица 19. Виды ламинариевых водорослей, соответствующие задаче, решаемой предлагаемой технологией для различных регионов

Море	Вид водоросли	Место Произрастания	Ссылка
1	2	3	4
Баренцево Белое	<i>Laminaria saccharina</i> и (ламинария сахаристая) <i>Laminaria digitata</i> (ламинария пальчаторассеченная)	Глубины 1- 25 м	Кузнецов, Шошина, 2003
Японское Охотское (южн. часть) (сев. часть)	<i>Laminaria japonica</i> (ламинария японская) <i>Laminaria ochotnsis</i> (ламинария охотская) <i>Laminaria longipes</i> (ламина- рия длинночеренковая)	Глубины 2-25 м	Клочкова, 1998

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

1	2	3	4
Тихоокеанское побережье Камчатки, Авачинская* губа	<i>Laminaria bongardiana</i> (ламинария Бонгарда)	Глубины 1-12 м	Клочкова, Березовская, 1997; 2001
Азовское и Черное**	-	-	Блинова, 2007; Калугина-Гутник, 1975

Примечание: \* Авачинская губа приведена в качестве возможного объекта применения способа в этом единственном загрязненном промышленными стоками водоеме Камчатки, вид выбран как наиболее удобный для искусственного размножения; \*\* Здесь отсутствуют ламинариевые, но их можно заменить произрастающей на глубинах до 20 м фукусовыми *Cystoseira barbata*, содержащей до 35% от сухой массы альгиновой кислоты, связывающей ТМ.

Использование ламинариевых в толще подповерхностного слоя морской воды позволяет в дополнение к созданию достаточно большого объема вод, заселенного с помощью водорослей микроорганизмами-деструкторами НП, обеспечить еще и очистку воды от целого ряда загрязнителей, попадающих в прибрежные воды вследствие некачественной очистки производственных стоков. Например, сорбционная емкость по отдельным ТМ определяется возможным количеством катионов металла, связываемого альгиновой кислотой, содержание которой в ламинарии составляет от 15 до 33 % сухого веса (в фукусах – от 9 до 28 %). Способность поглощать ТМ, растущими водорослями, достаточно велика, не случайно, что бурые водоросли (ламинариевые и фукусовые) в последнее время все чаще используют в качестве живых биоиндикаторов состояния морской среды в подверженных загрязнению бухтах, куда попадают стоки предприятий (Камнев, 1989; Христофорова, 1989).

Важным моментом является выращивание водорослей на двух горизонтах, позволяющее локализовать и нейтрализовать поверхностное загрязнение за счет фукусовых водорослей приповерхностного уровня, выдерживающих более высокие концентрации углеводов. За счет же ламинариевых водорослей подповерхностного уровня происходит обогащение объема СВП кислородом, а также нейтрализация эмульгированной и растворенной в морской воде

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

части НП и, дополнительно, следов токсичных металлов. Не менее важна и способность являться природной самовосстанавливающейся системой, способной обеспечивать очистку охраняемого от углеводородных загрязнений района.

Предлагаемая технология, как упоминалось выше, реализуется в несколько этапов. Примеры конкретного исполнения отличаются в зависимости от имеющихся видов морской флоры, характерной микрофауны и климатических условий.

### **III.5. Перечень результатов интеллектуальной деятельности, полученных в ходе выполнения НИР**

На основании результатов работ по проекту были подготовлены публикации:

Воскобойников Г.М., Степаньян О.В. Морфофункциональные изменения макроводорослей и прогноз развития прибрежных фитоценозов Мурманского побережья под влиянием нефтяного загрязнения. // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 392-417.

Воскобойников Г.М, Ильинский В.В., Лопушанская Е.М., Пуговкин Д.В. О возможной роли макрофитов в очистке поверхности воды от нефтяного загрязнения. Нефть и газ арктического шельфа – 2008: Материалы международной конференции. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2008. С. 63-66.

Воскобойников Г.М., Макаров М.В., Рыжик И.В., Коробков В.А. Теоретические основы и перспективы использования плантации биофилтра для очистки морской акватории от нефтяного загрязнения. Мурманск. 2009. 70 с. В печати.

Облучинская Е.Д. Сравнительное исследование бурых водорослей Баренцева моря / Прикладная биохимия и микробиология, 2008, т. 44, № 3. С. 377-342. (Obluchinskaya E.D. Comparative chemical composition of the Barents Sea brown algae / Appl. Biochem. and Microbiol., 2008, v. 44, No 3, pp. 305-309, Translated from Prikladnaya Biohimiya I Mikrobiologiya, 2008, Vol. 44, No 3. pp. 377-342).

Облучинская Е.Д., Клиндух М.П. Реологические свойства растворов полисахаридов природного происхождения / Мат. конф. молод. уч. ММБИ, Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2008, с. 104-112.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Облучинская Е.Д., Клиндух М.П. Реологические свойства растворов полисахаридов бурых водорослей /Мат. междуна. науч. конф. "Современные проблемы альгологии". ЮНЦ РАН. Ростов-на-Дону, 2008, с. 256-259.

Одобрена заявка на патент: № 2007106573/13(007130).

Авторы: Воскобойников Г.М., Коробков В.А., Макаров М.В.

Патентообладатель: ООО «СИРЕНА» «Способ очистки морских прибрежных вод от пленочных и диспергированных в поверхностном слое углеводов». Дата приоритета уст. по дате подачи заявки 21.02.2007.

### **III.6. Распространение информации об опыте разработки и реализации Проекта в области использования биотехнологии для решения проблем ликвидации нефтяного загрязнения морской среды**

Результаты работы по реализации пилотного проекта постоянно представлялись в теле- и радио- региональных и всероссийских программах, периодической печати.

Были сделаны доклады по результатам проекта на: конференции «Нефть и газ арктического шельфа» - Мурманск, 2008; Международной школе-конференции по проблемам альгологии, Ростов, 2008; Ученом совете ММБИ КНЦ РАН, в департаменте по экологии и охране среды администрации Мурманской области.

Был проведен выездной практический семинар в г. Оленья (место реализации пилотного проекта), посвященный роли биологического фактора (водорослей-макрофитов и углеводородокисляющих микроорганизмов) в очистке акватории Баренцева моря от нефтяного загрязнения для студентов Естественного факультета МГПУ.

### **IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

За 2007-2008 год – в период реализации пилотного проекта «ОЧИСТКА АРКТИЧЕСКОЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ», с помощью санитарной водорослевой плантации (СВП) была неоднократно продемонстрирована его актуальность для прибрежных районов Баренцева моря. Только в акватории губы Оленья за один год произошло три разлива нефтепродуктов. При усилении нагрузки на экосистему Баренцева моря в связи с увеличением транспортных потоков,

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

строительства перегрузочных и перерабатывающих различные виды топлива предприятий на побережье, внедрение СВП обеспечит защиту морской биоты от загрязнения нефтепродуктами. При реализации проекта в природных и лабораторных экспериментах была продемонстрирована не только эффективность работы предлагаемой технологии (СВП) по предотвращению повседневного нефтяного загрязнения, но и способность СВП задерживать распространение нефтепродуктов, нейтрализовать их при аварийных ситуациях. Естественно, может возникнуть вопрос о предельно допустимых нагрузках токсикантов (нефтепродуктов) на плантацию-биофильтр, которые выдерживают водоросли, и при которых функционирование плантации остается эффективным. Природные наблюдения и данные экспериментов свидетельствуют об устойчивости фукусовых водорослей к концентрации нефтепродуктов, в десятки раз превышающих ПДК для НП в морской воде (в губе Оленья концентрация НП в воде достигала 8,0 мг/л, что в 200 раз выше ПДК). Об этом свидетельствовали ситуация во время разлива НП, когда фукусовые водоросли удерживали длительный период времени слой НП, сохраняя функциональную активность, а также факт сохранения жизнеспособности фукусовых водорослей в течение нескольких лет при обитании в зонах постоянного загрязнения на литорали (слой мазута). Вместе с тем, пилотный проект показал, что при волнении выше 4-5 баллов (шкала Бофорта) возможен заплеск нефтепродуктов с водой через верхний (фукусовый) горизонт плантации.

Пилотная СВП, построенная и действующая по описанному принципу, проработала более 18 месяцев в достаточно суровых условиях, выдержала несколько штормов и подтвердила эффекты локализации и нейтрализации углеводородных загрязнений. Указанный срок – не предел существования несущей конструкции.

Большую значимость приобретает внедрение СВП для защиты хозяйств по искусственному выращиванию рыбы и крабов, развивающихся в настоящее время в прибрежье Мурмана. Несомненно, предлагаемая технология защиты морской среды от загрязнения с помощью бурых водорослей может быть использована и на других морях с учетом региональных особенностей.

В ходе реализации пилотного проекта было показано, что конфигурация плантации-биофильтра для очистки акваторий от нефтяного загрязнения зависит от географических, гидродинамических и гидробиологических особенностей района размещения плантации. В

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

приложении излагается системный типовой подход к созданию плантации-биофильтра в различных регионах.

## **V. Список использованной литературы**

*Воскобойников Г.М.* Механизмы адаптации, регуляции роста и перспективы использования макрофитов Баренцева моря. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. - Мурманск, ММБИ, 2006.

*Воскобойников Г.М., Макаров М.В., Пантелеева Н.Н.* Проблемы и перспективы биотехнологии культивирования бурых водорослей в Баренцевом море. В сб. «Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. Отв. ред. Г.Г. Матишов; Мурман. мор. биолог. ин-т КНЦ РАН. М.: Наука, 2005. с. 256-273.

*Воскобойников Г.М., Малавенда С.В., Матишов Г.Г.* Роль интенсивности движения воды и солености в формировании структуры популяции *Fucus Phaeophyta*) Баренцева моря // ДАН. Общая биология, 2007, Т. 413, №3, с. 424-427.

*Завалко С.Е.* Адаптация слоевищ ламинарии к различной подвижности воды // Биол. моря. 1993. Т. 19, № 3. С. 88-93.

*Ильинский В.В.* Гетеротрофный бактериопланктон: экология и роль в процессах естественного очищения среды от нефтяных загрязнений. Дисс. ... докт. биол. наук. – Москва. МГУ. 2000. 581 с.

*Камнев А.Н.* Структура и функции бурых водорослей. М.: Изд-во МГУ, 1989. 200 с.

Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. / Под. ред. Г.Г. Матишов. М.: Наука. 2009. 381 с.

Методика определения предотвращенного экологического ущерба (утверждена Председателем Госкомитета РФ по охране окружающей среде 30.11.99). М. 1999.

*Патин С.А.* Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М.: Изд. ВНИРО. 1996. 350 с.

*Перетрухина И.В.* Гетеротрофный бактериопланктон литорали Кольского залива и его роль в процессах естественного очищения вод от нефтяных углеводородов // Автореф. на соис. ... канд. биол. наук. М. 2006. 18 с.

Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды и водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.- ВНИРО, 1999.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Практикум по микробиологии под ред. Егорова Н.С. / Изд-во Моск. ун-та, 1976. 307 с.

Титлянов Э.А., Колмаков П.В., Лелеткин В.А., Воскобойников Г.М. Новый тип адаптации водных растений к свету // Биология моря. 1987. N 2. С. 48-57.

Тутельян В.А., Суханов Б.П., Австрийских А.Н., Позняковский В.М. Биологически активные добавки в питании человека (оценка качества и безопасности, эффективность, характеристика, применение в профилактической и клинической медицине). Томск: Изд-во НТЛ 1999. 296 с.

Хайлов К.М. Физиологическая разнокачественность элементов слоевища *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* и *Fucus inflatus* из Баренцева моря. // Физиол. раст. 1976. Т. 23, вып. 4. С. 835-839.

Хайлов К.М. Физико-химическое моделирование связи внешнего строения слоевища морских макрофитов с их внешним обменом. // Физиол. раст. 1988. Т.35, вып. 6. С. 1085-1091.

Хайлов К.М., Завалко С.Е., Ковардаков С.А., Рабинович М.А. Изготовление и применение гипсовых структур для регистрации физико-химического воздействия тела с движущейся водой в мелкомасштабном пространстве // Экология моря, 1988, вып. 30. С. 83-89.

Хайлов К.М., Празукин А.В., Завалко С.Е., Измestьева М.А., Рындина Д.Д. Морские макрофиты в градиенте бытового евтрофирования // Водные ресурсы. 1984. N 5. С. 88-103.

Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Л.: Наука. 1989. 192 с.

Conover J.T. The importance of natural diffusion gradients and transport of substances related to benthic marine plant metabolism. // Bot. Mar. 1968. V. 11, N 1. P. 1 – 9.

Muus B.J. A field method for measuring “exposure” by means of plaster balls // Sarsia. 1968. V. 34, N 1. P. 61 – 68.

Oliger P., Santelices B. Physiological ecology studies on Chilean Gelidiales // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1981. V. 53, N 1. P. 65 – 75.

**Руководитель проекта**

**Г.М. Воскобойников**

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## Приложение к отчету

о выполнении пилотного проекта «ОЧИСТКА АРКТИЧЕСКОЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ» в рамках реализации проекта «Российская Федерация – Поддержка Национального плана действий по защите арктической морской среды»

### **Системный типовой подход к созданию санитарной водорослевой плантации (СВП) в различных регионах**

#### *Введение*

Проект плантации-биофильтра для очистки акваторий от нефтяного загрязнения может быть полностью типовым только в подходе к решению ряда вопросов, т.к. конфигурация СВП зависит от географических, гидродинамических и гидробиологических особенностей района размещения. В каждом конкретном случае придется уделять внимание химической природе основных промышленных загрязнителей, а также существующей (отлаженной!) в регионе предполагаемой установки СВП системе экологической защиты, предотвращающей, в частности, залповые выбросы нефти и нефтепродуктов. В связи с этим, проект всегда будет оригинальным (т.е. отличающимся от первичного варианта), будет требовать серьезной доработки, т.к. его придется подгонять под указанные условия конкретного региона. Одним из таких условий является, например, выбор посадочного материала в зависимости от региона. Одно это уже не предполагает переноса конструкции, подходящей для Баренцева моря, - в Черное, где нет ламинарии.

Типовой проект предполагает системное решение всех проблем, возникающих в процессе выбора и оценки возможностей акватории, обслуживания будущей СВП, утилизации отходов, которые в зависимости от мощности СВП (имеется в виду количество переработанных нефтепродуктов, например, в сутки) и периодичности возобновления растений, обеспечивающих сбор и окисление фракций нефтепродуктов (НП). Обеспечивать чистоту акватории в случаях загрязнения суши или морского дна (последнее особенно опасно для мелководных водоемов). Поэтому здесь мы предлагаем ограничиться не конкретным типовым проектом СВП, а системным типовым подходом к их созданию в различных регионах.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

### *Предпроектная подготовка*

1. Прежде всего, необходимо произвести мониторинг загрязнений с тем, чтобы четко представлять себе будущие задачи тонкой («финишной») очистки акватории, так основная направленность плантации-биофильтра профилактическая, повседневная очистка акватории.

2. Необходимо оценить географические и гидрологические особенности будущей акватории очистки с тем, чтобы правильно спроектировать якорную систему, которая бы обеспечила устойчивость ориентации СВП. Вполне возможно, что в зависимости от характерной частоты изменения направления ветров и поверхностных течений, придется либо обеспечить избыточную удерживающую силу якорно-тросовой системы, либо возможность изменения ориентации СВП по отношению к ветровой и гидравлической составляющим штормовых напоров. Ориентация СВП и сама возможность ее постановки также зависят от интенсивности судоходства и направления движения судов в заданном районе в сопоставлении с местоположением источника загрязнения и направлением переноса загрязняющих веществ. Это является одним из ограничений использования СВП.

3. На основании полученных результатов в ходе реализации пилотного проекта (см. настоящий отчет) о подходе к оценке возможностей подобных сооружений, можно определить общую площадь сбора НП, период работоспособности модулей будущего сооружения и, соответственно, их производительность по отходам.

4. Далее необходимо оценить возможности инфраструктуры утилизировать отходы, возникающие в результате ухода за СВП. К инфраструктуре здесь относятся логистически оправданные перерабатывающие растительные отходы предприятия, имеющие мусоросжигающие печи, метантэнки для переработки сельскохозяйственных отходов, ТЭЦ, работающие на угле и торфе. Установка собственных инсинераторов, подобных тем, что устанавливаются на судах для сжигания бытового мусора, вряд ли будет рентабельной, т.к. они имеют сравнительно низкую температуру сжигания, рассчитанную на сжигание бумаги, промасленной ветоши, картона от разовой посуды и т.п.

Анализ перечисленных выше компонентов позволяет вычленить базовый модуль СВП в качестве основного блока будущей СВП.

# Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

## ***Рабочая документация СВП***

В состав рабочей документации на установку СВП в общем случае входят:

- а) рабочие чертежи, предназначенные для производства подготовительных и монтажных работ;
- б) рабочая документация на отдельные детали будущей СВП (аналогично ГОСТ 21.501);
- в) спецификации оборудования для монтажных работ по ГОСТ 21.110-95;
- г) сводные ведомости потребности в материалах по ГОСТ 21.110;
- д) другая документация, предусмотренная стандартами Системы проектной документации для строительства (СПДС);
- ж) сметная документация по установленным формам.

## ***Согласования***

Опыт осуществления пилотного проекта на Баренцевом море показал, что установка СВП, являющаяся инженерным сооружением, требует целого ряда разрешений и согласований, в частности: с руководством организации, владеющей участком предполагаемого размещения СВП, Комитетом (департаментом) по природным ресурсам и охране окружающей среды, Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора, Морской инспекцией и др..

## ***Примеры выполнения конкретной СВП***

Приведенные ниже примеры отличаются в зависимости от имеющихся видов морской флоры, характерной микрофауны и климатических условий.

### ***Вариант 1 (баренцевоморский)***

***Подготовительный период.*** Прежде всего, производится изучение района предполагаемой установки будущей СВП. При этом оцениваются географические, гидрофизические и гидрохимические характеристики, включая рельеф дна, скорости и направления преимущественных течений, определяются потенциальные направления поступления поверхностных загрязнений, оценивается характер и интенсивность общего загрязнения бухты для проведения предварительной очистки акватории от нежелательных плавучих объектов. В случае необходимости проводится очистка. Для выявления и

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

удаления представляющих опасность для СВП затонувших объектов производится водолазное обследование дна и устранение помех.

Затем берутся пробы воды для определения фонового содержания нефтяных углеводородов и, в случае необходимости, тяжелых металлов, включая радионуклиды. Выполняются необходимые гидродинамические расчеты для определения конфигурации СВП, массы и расположения гравитационных якорей, длины крепежных тросов, длины и диаметра заготовок будущих элементов силового контура (основания) плантации для последующего крепления к ним канатов меньшего диаметра, выполняющих для водорослей роль субстрата.

Параллельно производится заготовка и разделка отрезков канатов требуемого диаметра и установка на них элементов для крепления. Для выращивания фукуса нарезаются модули из полимерного каната диаметром 10-20 мм, длиной не менее 20 м (субстраты), а для выращивания ламинарии – канаты диаметром 10 мм длиной, например, 3-6 м (поводцы). В случае необходимости заготовки поводцов для выращивания ламинарии предварительно стерилизуются в растворе, например, NaClO, после чего они на 10-12 ч замачиваются в пресной воде.

Способ заселения поводцов выбирается в зависимости от требуемых сроков установки СВП. Поводцы либо оспориваются, для чего их укладывают в ванны для посева спор, и заливают заранее подготовленной суспензией спор ламинарии требуемой концентрации, либо засаживаются путем вплетения молодых спорофитов в толщу канатов. Время выдержки субстрата в посадочных ваннах, необходимое для оседания и закрепления спор на субстрате, составляет 24 часа. В процессе выдержки субстрата в посадочных ваннах ведется контроль за ходом посева, о качестве которого судят по остаточной концентрации спор в растворе, либо по осевшим спорам на контрольных предметных стеклах. Оспоривание поводцов менее трудозатратно по сравнению с вплетением спорофитов, однако после оспоривания в августе-сентябре водоросли в Баренцевом море начнут функционировать в ассоциации только в июле-августе на следующий год (после длительного периода прорастания спор и развития спорофитов).

Отбор в природе (на нижнем горизонте литорали) растений ламинарии (молодые спорофиты *L. saccharina* длиной 10-20 см) и вплетение отобранных растений в заранее подготовленные поводцы производится группами по 3 растения через каждые 5-10 см.

При посадке фукусовых растения заранее отбираются на литорали, а вплетение производится в подготовленные субстраты группами по три-четыре растения через 5 см.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

Для ускоренного заселения талломов водорослей микроорганизмами их на сутки помещают в емкости с морской водой, обогащенной природной композицией из культур углеводородоокисляющих бактерий в комплексе с другими микроорганизмами-деструкторами НП и питательными веществами.

Для подготовки этой композиции заранее производится культивация соответствующих микроорганизмов. Для Кольского залива Баренцева моря такая композиция может включать, например, представителей дрожжеподобных грибов рода *Candida* sp., а также бактериальной микрофлоры – *Pseudomonas* sp., *Corynebacterium* sp., *Brevibacterium* sp., *Nocardia* sp., *Arthrobacter* sp., *Streptomyces* sp., *Acremonium* sp., являющихся сложившимися компонентами сообщества морских микроорганизмов побережья Баренцева моря, независимо от уровня их загрязнения НП.

Подготовленные субстраты с водорослями доставляются к месту установки СВП.

**Первый этап монтажа.** В расчетных точках дна заданного района очищаемой бухты производится установка гравитационных якорей с прикрепленными к ним с помощью стальных тросов или полимерных канатов силовых буев. Они служат для удержания плавучего силового основания СВП из полимерных канатов диаметром 30-40 мм, используемого в качестве каркаса для последующего крепления модулей-субстратов в приповерхностном слое воды.

**Второй этап монтажа.** К растянутым на якорях силовым канатам с помощью крепежных элементов присоединяются горизонтальные модули-субстраты приповерхностного слоя, засаженные фукусовыми водорослями. К ним присоединяются поплавки для удержания поводцов.

**Третий этап монтажа.** Производится установка вертикальных поводцов, несущих на себе спорофиты ламинариевых. Одним концом поводцы крепятся к горизонтальным канатам, а к их свободным концам прикрепляются грузы, обеспечивающие вертикальное положение поводцов в толще воды. После этого производится окончательное натяжение силовых тросов, обеспечивающее требуемую конфигурацию СВП и ее ориентацию относительно характерного направления поступления загрязнений.

**Обслуживание СВП.** В процессе эксплуатации на ранних сроках периодически ведется наблюдение за ростом водорослей, за состоянием конструкции и искусственным симбиотическим биоценозом, осуществляется в случае необходимости замена разрушившихся рабочих модулей, а также прореживание или дополнение рассады.

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

После выхода СВП на рабочий режим периодически производится проверка состояния силового каркаса, целостности водорослевого покрова, добавление в случае необходимости новых рабочих модулей. Периодически ведется отбор проб воды в пределах СВП и на подходах к ней, а также водорослей для проведения лабораторных исследований с целью определения фильтрующих свойств СВП.

В случае необходимости плантация может наращиваться новыми модулями, могут также вноситься изменения в ее конфигурацию.

### **Вариант 2 (черноморский)**

Отличается от варианта 1 тем, что в процессе подготовительного периода:

1. оба вида рабочих модулей подготавливаются вплетением заранее отобранных растений, причем для посадки на канаты приповерхностного слоя используется представитель фукусовых вида *Cystoseira crinita*, а для посадки на вертикальные поводцы – более тенестойчивый вид *C. barbata*.

2. Предварительное ускорение заселения модулей микроорганизмами не производится в связи с тем, что при достаточно высоких температурах воды оно происходит достаточно быстро естественным образом и начинается сразу после погружения засаженных водорослями модулей в воду.

Этапы монтажа и обслуживания остаются такими же, как в варианте 1.

### **Вариант 3 (япономорский)**

Отличается от варианта 1 видами используемых водорослей и возможностью не прибегать к искусственному обсеменению микроорганизмами аналогично варианту 2. В случае образования в районе расположения СВП ледового покрытия необходимо предусмотреть возможность заглубления плантации во избежание перетирания канатов льдом.

### **Вариант 4 (авачинский)**

Аналогичен варианту 3.

На основании полученных результатов нами сделана попытка суммировать ограничивающие и благоприятные для постановки СВП факторы вне зависимости от региона постановки плантации-биофильтра:

*Ограничивающие факторы:*

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

1. Глубины (не более 25-30 м), наличие на морском дне в районе предполагаемой установки СВП крупногабаритных затонувших объектов или конструктивных элементов причалов и пр., создающих опасность для проведения работ по установке гравитационных якорей, водолазного обслуживания.
2. Помехи судоходству, а также возможность повреждения плантации судами. Близость фарватеров с нерегулируемым движением судов, требующая снабжения СВП системой специальных сигнальных буйев, оснащенных радиолокационными отражателями и предупреждающими световыми сигналами.
3. Высокая волновая активность, не позволяющая размещать СВП в мористых зонах заливов и в открытом море. Может привести к срыву, перепутыванию канатов.
4. Близость зон сезонного распреснения поверхностных вод за счет впадения рек в бухты (фиорды, заливы и пр.) предполагаемой установки СВП, приводящего к изменению гидрохимических характеристик воды, подавляющих рост водорослей, микробиологических показателей, а также в случае распреснения воды, повышающего вероятность образования льда, повреждения конструкции СВП.

### *Благоприятные факторы*

1. Достаточно надежная защита района предполагаемого размещения СВП от мощного волнового воздействия.
2. Стабильность гидрохимических показателей морских вод.
3. Достаточная близость к району населенных пунктов или промышленных предприятий, позволяющих разместить персонал и оборудование для обслуживания СВП.
4. Достаточная близость к наземным транспортным магистралям, обеспечивающим возможность доставки элементов СВП при ее установке и обслуживании, требующем замены вышедших из строя элементов.
5. Наличие в достаточной близости от района установки СВП предприятий, позволяющих произвести утилизацию отходов СВП.
6. Наличие в достаточной близости от района установки СВП незагрязненных районов литорали, обеспечивающего получение посадочного материала.

### ***Результаты изучения работы пилотной СВП***

Способ очистки прибрежных вод, заложенный в предложенный для пилотного проекта вариант СВП, изначально разрабатывался для тонкой («финишной») очистки поверхностных вод, начинающейся, как правило, после окончания сбора основной массы оказавшихся на поверхности моря нефти и НП известными механическими способами, а также постоянной профилактической очистки акватории вблизи источников загрязнения. Однако, опыт изучения экспериментальной СВП (губа Оленья, 2007-2008 гг.) показывает,

## Очистка Арктической морской среды от загрязнений с помощью бурых водорослей

---

что плантация выдерживает и достаточно серьезные залповые выбросы НП. Так, при аварийном разливе НП, когда практически вся поверхность воды в губе, где стоит СВП, была покрыта пленкой, а содержание НП превышало 100 мг/л, фукусовые водоросли оказались функционально активными. Более того, в связи с тем, что загрязнение от источника поступало в губу длительное время (около 15 дней), они, задерживая и аккумулируя НП, все это время подвергались постоянному воздействию их высоких концентраций. Массовая доля НП в водорослях достигала 6 г/кг (сухой вес). Однако и в этом случае они сохраняли функциональную активность, хотя и на меньшем уровне (ниже на 30-40%), чем в чистой воде. Для баренцевоморского варианта СВП в зонах повышенной интенсивности движения водных масс оказалось предпочтительным использовать вид *L. digitata*, лучше переносящий воздействие турбулентных течений.

Пилотная СВП, построенная и действующая по описанному принципу проработала более 18 месяцев в достаточно суровых условиях, выдержала несколько штормов и подтвердила эффекты локализации и нейтрализации углеводородных загрязнений. Указанный срок – не предел существования несущей конструкции.

Параллельно проводившийся эксперимент в Дальнезеленецкой бухте Баренцева моря показал возможность использования подобных СВП в качестве защитных заграждений для хозяйств марикультуры, что особенно важно в связи с развитием в прибрежье Баренцева моря садкового подращивания крабов и ихтиофауны.