

# Создание подводных обсерваторий для мониторинга экологического состояния акваторий

**Дёмин Виктор Валентинович**

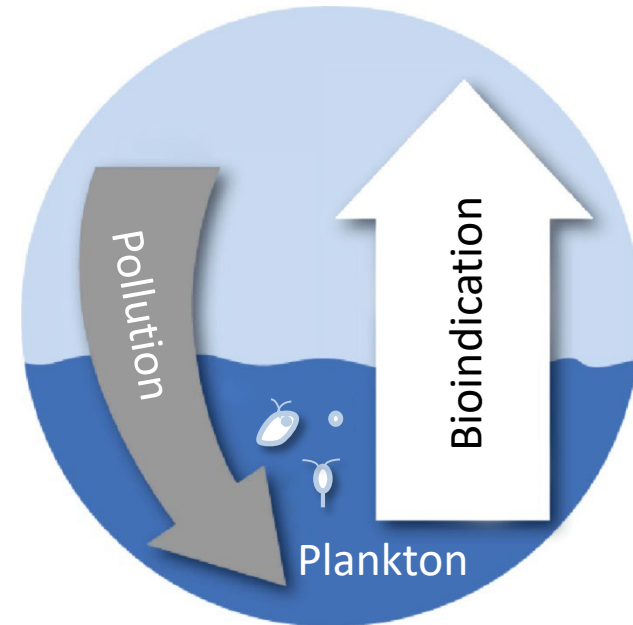
Первый проректор ТГУ,  
заведующий лабораторией радиофизических  
и оптических методов изучения окружающей среды

**+7 903 914 3975**

**dyomin@tsu.ru**

# Биоиндикация – оценка степени экологической опасности, установленная на основании реакций живых организмов

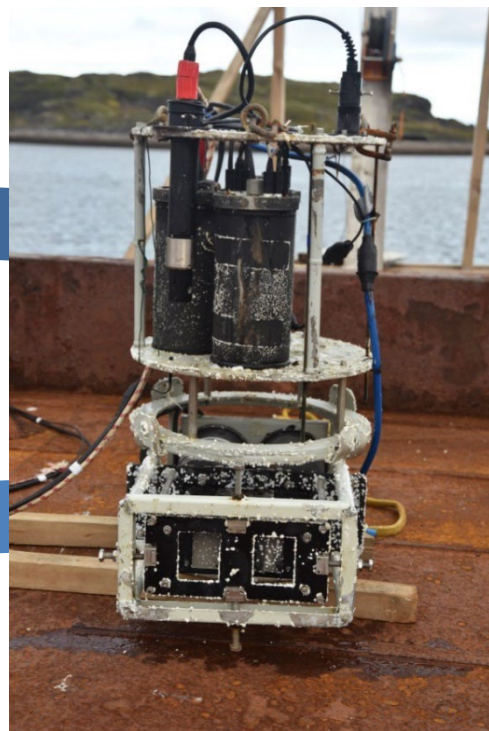
1. Не для всех веществ установлена ПДК
2. Не для всех веществ известны такие их свойства, как изменение токсичности при взаимодействии с сотнями других, недавно созданных, химических веществ
3. Чаще всего ПДК устанавливается в лабораторных условиях на лабораторных тест-организмах, чувствительность которых может отличаться от чувствительности «диких» видов
4. Появление новых классов веществ, таких как наноматериалы, микро- и нанопластик, во всё больших масштабах поступающих в окружающую среду, ставят под сомнение данную возможность из-за немонотонной зависимости «доза-эффект»



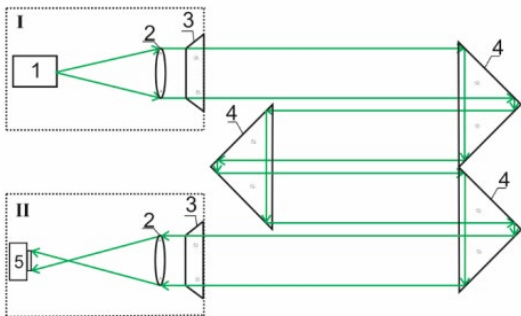
# Причины использования планктона для целей биоиндикации

- повсеместное распространение планктона
- значимость для экосистемы
- тесная связь с окружающей средой
- быстрая реакция на загрязнение

**Планктон для биоиндикации  
«здесь и сейчас»**



# Цифровая голографическая камера Digital holographic camera (DHC)



## Осевая схема регистрации цифровой голограммы

I – освещающий модуль

II – регистрирующий модуль

1 – лазер

2 – объективы

3 – иллиuminаторы

4 – призмы

5 – CMOS камера



Цифровая голографическая  
камера (DHC)

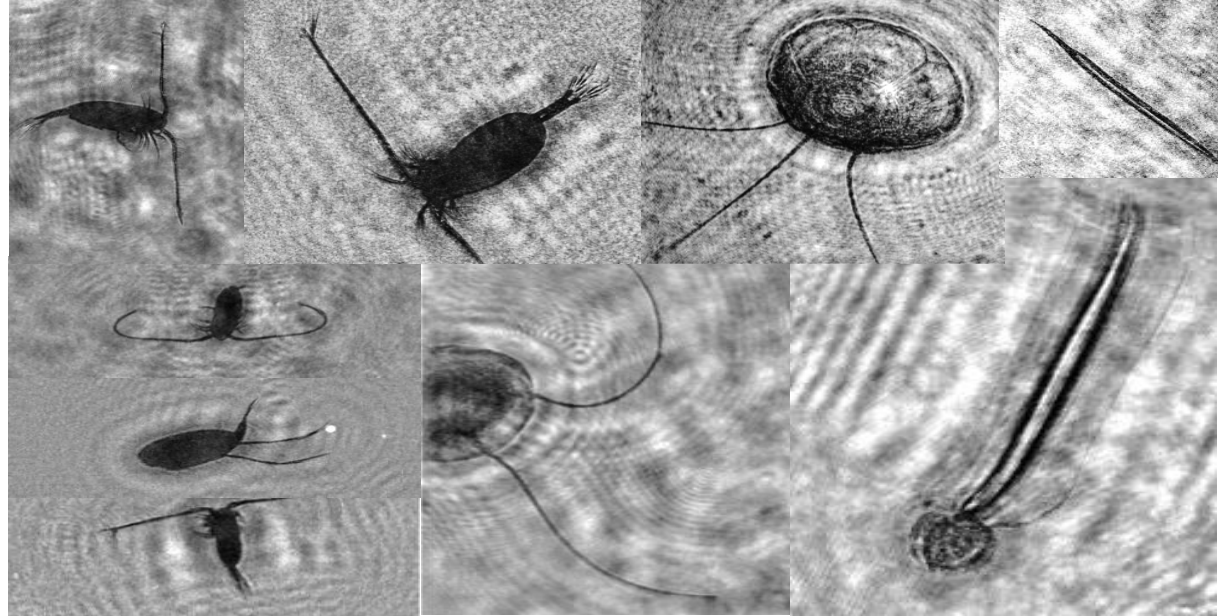


I  
Освещающий модуль DHC



II  
Регистрирующий модуль DHC

# Голографические изображения морских частиц

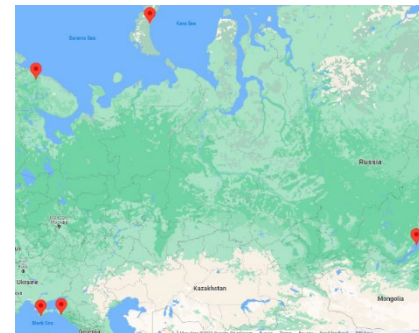


Victor Dyomin; Alexandra Davydova; Igor Polovtsev. Geometric-Optical Model of Digital Holographic Particle Recording Geometric-Optical Model of Digital Holographic Particle Recording System and Features of Its Application System and Features of Its Application // **Photonics** **2024**, Volume 11, Issue 1, 73. doi: 10.3390/photonics11010073

Victor Dyomin, Igor Polovtsev, and Alexandra Davydova. Calibration for the magnification of a submersible digital holographic camera during the study of particles in natural conditions // **Applied Optics**, **2024**.

# Экспедиции

- Арктическая экспедиция АМК-66 в Карском море, *август 2016*
- Экспериментальная апробация в Кольском заливе в Мурманске, *июнь 2018*
- Экспедиция в Черном море на морском гидрофизическом полигоне около пос. Кацивели, *август 2018*
- Экспедиция в Черном море в Голубой бухте, *2019*
- Международная Арктическая экспедиция, *28 сентября–4 ноября 2020*
- Длительная стоянка на озере Байкал в Больших Котах, *август 2021, февраль–март 2022*
- Длительная стоянка в акватории Зеленецкой губы Баренцева моря, опытный полигон ММБИ (Мурманского Морского Биологического Института) в пос. Дальние Зеленцы, *июль–сентябрь 2022*
- Длительная стоянка на озере Б. Яровое, Алтайский край, *июль 2024*



Dyomin, Victor, Yuri Morgalev, Igor Polovtsev, Sergey Morgalev, Tamara Morgaleva, Alexandra Davydova, and Oksana Kondratova. "Phototropic Behavioral Responses of Zooplankton in Lake Baikal In Situ and during the Anthropogenic Impact Modeling" **Water** 2023. 15, no. 16: 2957.

<https://doi.org/10.3390/w15162957>

Victor Dyomin, Yuri Morgalev, Sergey Morgalev, Alexandra Davydova, Oksana Kondratova, Tamara Morgaleva, Igor Polovtsev. Phototactic Behavioral Responses of Mesozooplankton in the Barents Sea as an Indicator of Anthropogenic Impact // **Water** 2023, Volume 15, Issue 22, 3901.

<https://doi.org/10.3390/w15223901>

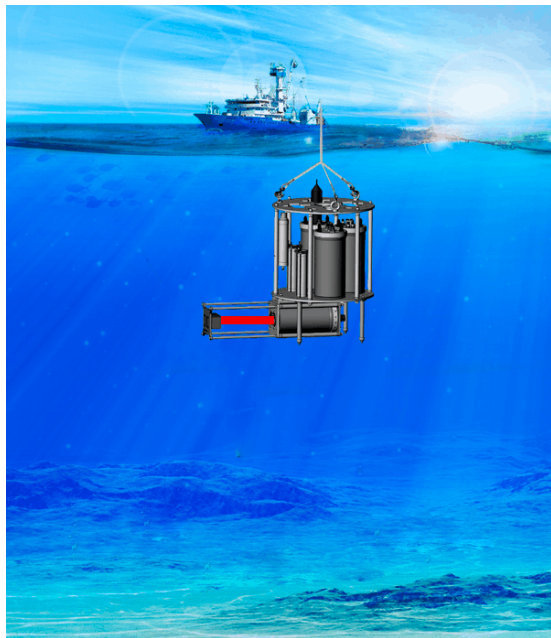
# ДНС на ЛСП «Северный полюс»

Два гидробиологических зонда на базе погружаемой цифровой голографической камеры дрейфовали с ЛСП «СП-42»



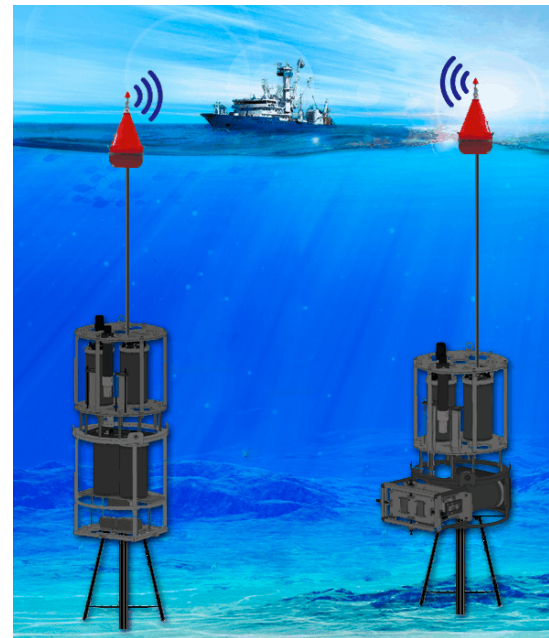
# ДНС-сенсорика пространственных и временных распределений взвешенных частиц

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ

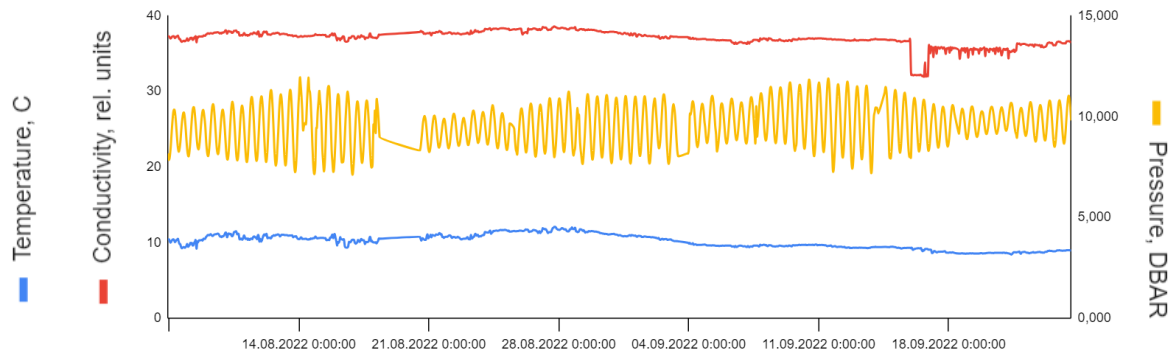
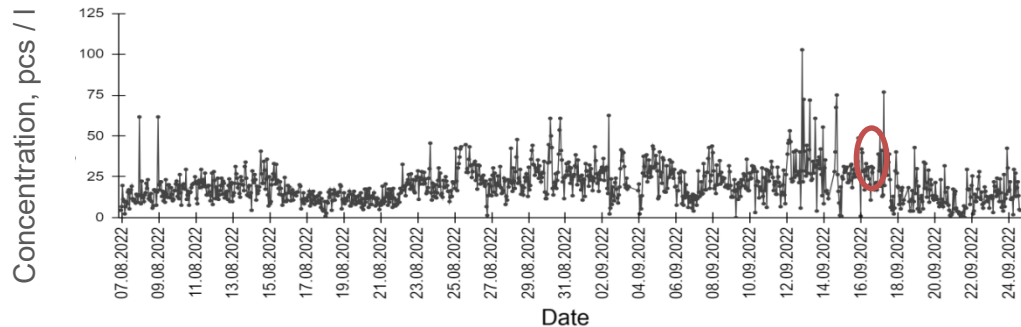


- **Измерение интегральных характеристик планктона**
  - средний размер
  - концентрация
  - биомасса
- **Измерение индивидуальных характеристик частиц**
  - размер
  - форма
  - поведенческие реакции
- **Оценка**
  - мутности среды
  - содержания метана
- **Исследование**
  - in situ
  - в реальном времени
  - в сети с другими сенсорами
- **Размещение**
  - на стационарной платформе
  - на буйях
  - на борту судов (НИС, рыболовецких и т. д.)
  - АНПА

## ВРЕМЕННЫЕ



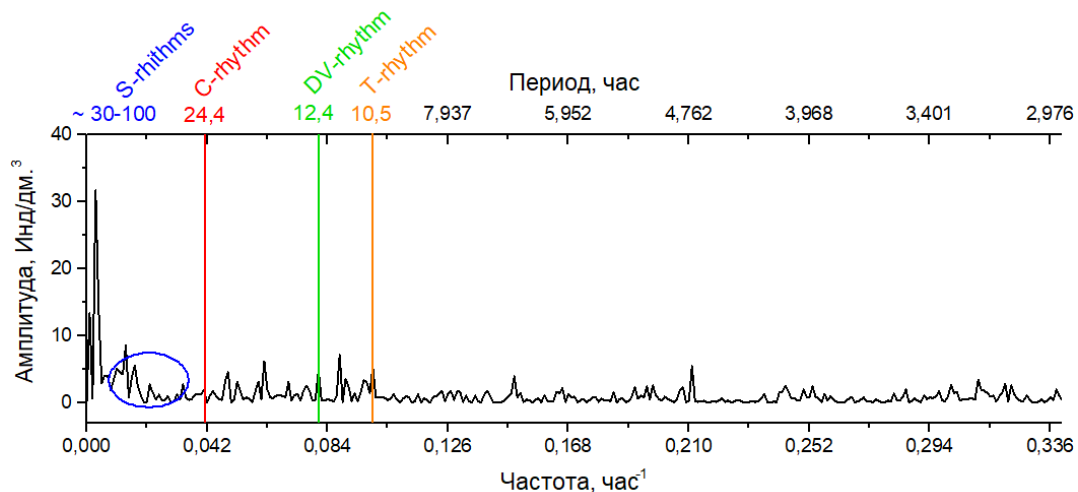
# Долгосрочный временной отбор проб – мониторинг параметров планктона



Показатели биоиндикации могут быть рассчитаны на основе временных рядов и их Фурье-спектров:

- фототропный ответ
- амплитуда циркадных и других ритмов
- внутривидовая энтропия
- межвидовая энтропия

# Фурье-спектр временного ряда концентрации зоопланктона в рабочем объеме DHC



S – структурирующие ритмы, связанные с турбулентностью (~30–100 час)

C – циркадный ритм (24,4 час)

DV – ритм суточной изменчивости (12,4 час)

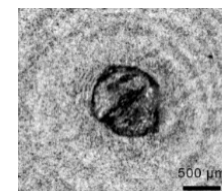
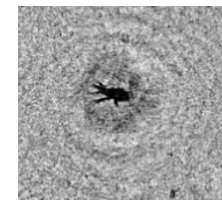
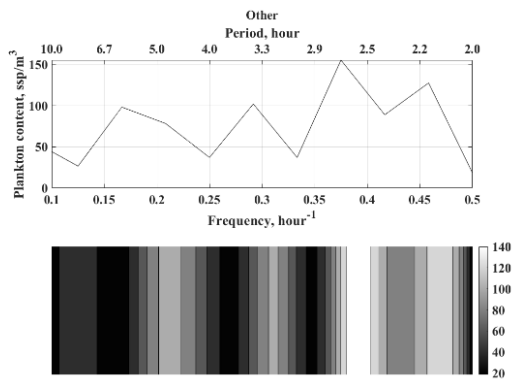
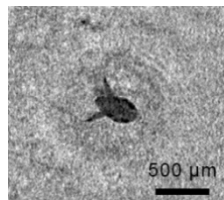
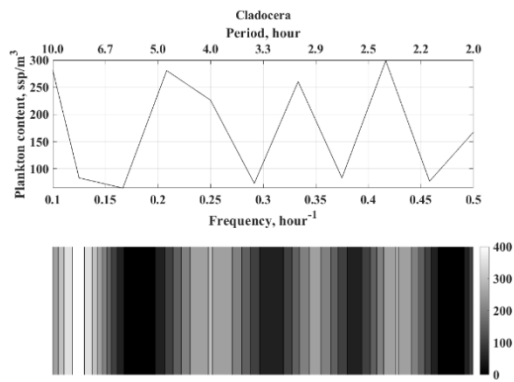
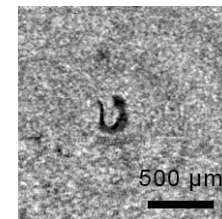
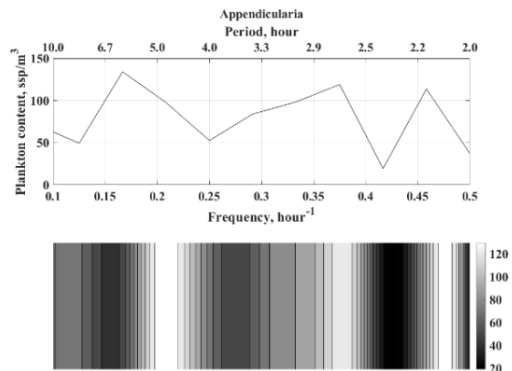
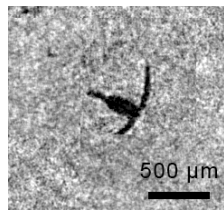
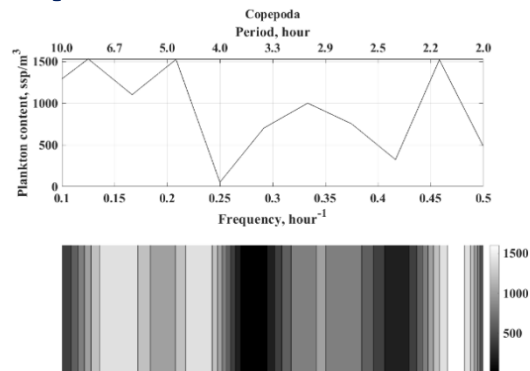
T – приливный ритм (10,5 час)



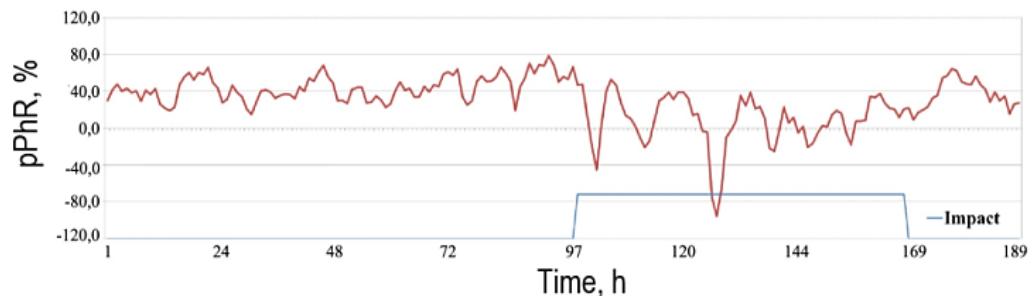
Зонд DHC, закрепленный на месте швартовки

Dyomin, V.; Davydova, A.; Kirillov, N.; Kondratova, O.; Morgalev, Y.; Morgalev, S.; Morgaleva, T.; Polovtsev, I. Monitoring Bioindication of Plankton through the Analysis of the Fourier Spectra of the Underwater Digital Holographic Sensor Data. *Sensors* 2024, 24, 2370. doi: [10.3390/s24072370](https://doi.org/10.3390/s24072370)

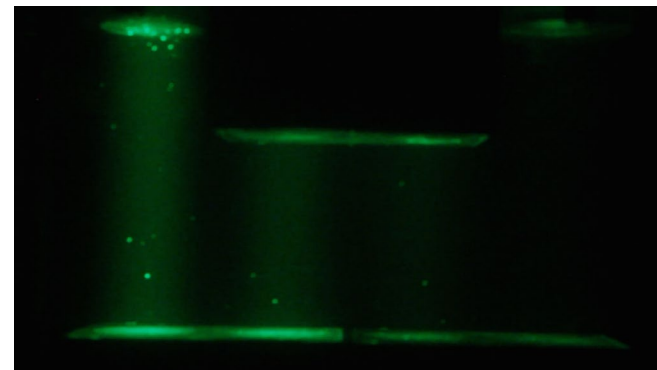
# Отображение биоразнообразия в спектральном представлении



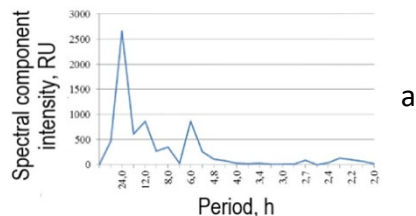
# Исследование фототропного ответа на парную фотостимуляцию



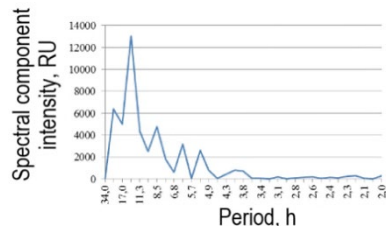
impact – период моделирования антропогенного воздействия, фрагмент временного ряда значений фототропного ответа на парную фотостимуляцию



Концентрация планктона в области аттракторного света



a



b

Спектрограммы ритмических процессов фототропного отклика без загрязнения (a), при моделировании антропогенного загрязнения (b)

V.V. Dyomin, Yu. N. Morgalev, S. Yu. Morgalev, T. G. Morgaleva, A. Yu. Davydova, I. G. Polovtsev, O. V. Kondratova, A. A. Kosiakova & A. K. Mostovaya Early Detection of Contamination with Microplastics by Changing the Phototaxis of Freshwater Mesozooplankton to Paired Photostimulation // **Inland Water Biology**.- Volume 17, pages 354–364, (2024)

# Маркеры изменения экологической ситуации водоема, как это может работать

Маркер	Критерий опасности	Время реакции системы
Фототропная реакция уменьшилась вдвое	+	3 часа
+ Десинхронизация циркадного ритма	++	2 суток
+ Аномальная лазерно индуцированная флуоресценция	+++	1 сутки
+ Внутривидовое биоразнообразие уменьшилось вдвое	++++	1 квартал
+ Межвидовое разнообразие уменьшилось вдвое	Катастрофа	1 год

# Выводы

Разработанный DHC-зонд и технология DHC позволяют проводить регистрацию временных рядов выбранных параметров как для естественного, так и для фотостимулированного состояния планктона

- концентрация планктона в рабочем объеме DHC
- фототропный отклик
- внутривидовая энтропия
- межвидовая энтропия

Последующая **спектральная обработка** полученных результатов мониторинга позволяет выделить **наиболее характерные частоты (ритмы) активности планктона**, особенности которых могут быть использованы для определения экологического благополучия экосистемы

**Нарушение устойчивости ритмических процессов изменения концентрации планктона в рабочем объеме DHC** может быть использовано в качестве маркера нарушения благополучия экосистемы

# Выводы

- ✓ Дальнейшие исследования будут направлены на **изучение** этого и других **маркеров нарушения благополучия экосистемы** (тревожных сигналов), а также временных критериев их действия
- ✓ Целесообразно построение **распределенных систем мониторинга акваторий с размещением средств измерений вблизи опасных объектов** — атомные станции, нефтяные платформы, газопроводы, морские захоронения, промысловая деятельность, исследования сипов

# Пример требований к обследованию объектов на шельфе (в том числе Нефтегазовых станций)

- сбор и анализ фондовых материалов и материалов предыдущих исследований, характеристику гидробиологической изученности водного объекта;
- изучение видовой и пространственно-временной структуры фитопланктона, высшей водной растительности, зоопланктона, бентоса, перифитона;
- изучение сезонной динамики видового состава и показателей обилия (численности, биомассы) гидробионтов;
- определение организмов-индикаторов качества вод;
- сапробиологический анализ;
- определение трофического статуса экосистемы по показателям гидробиологии;
- обработка полевых исследований животного мира;
- обработка и оценка материалов исследований, и разработка картографических материалов;
- подготовка проб к анализу в химической и радиологической аттестованной лаборатории;
- токсикологический анализ проб воды и донных отложений (биотестирование на двух тест-объектах разных систематических групп).

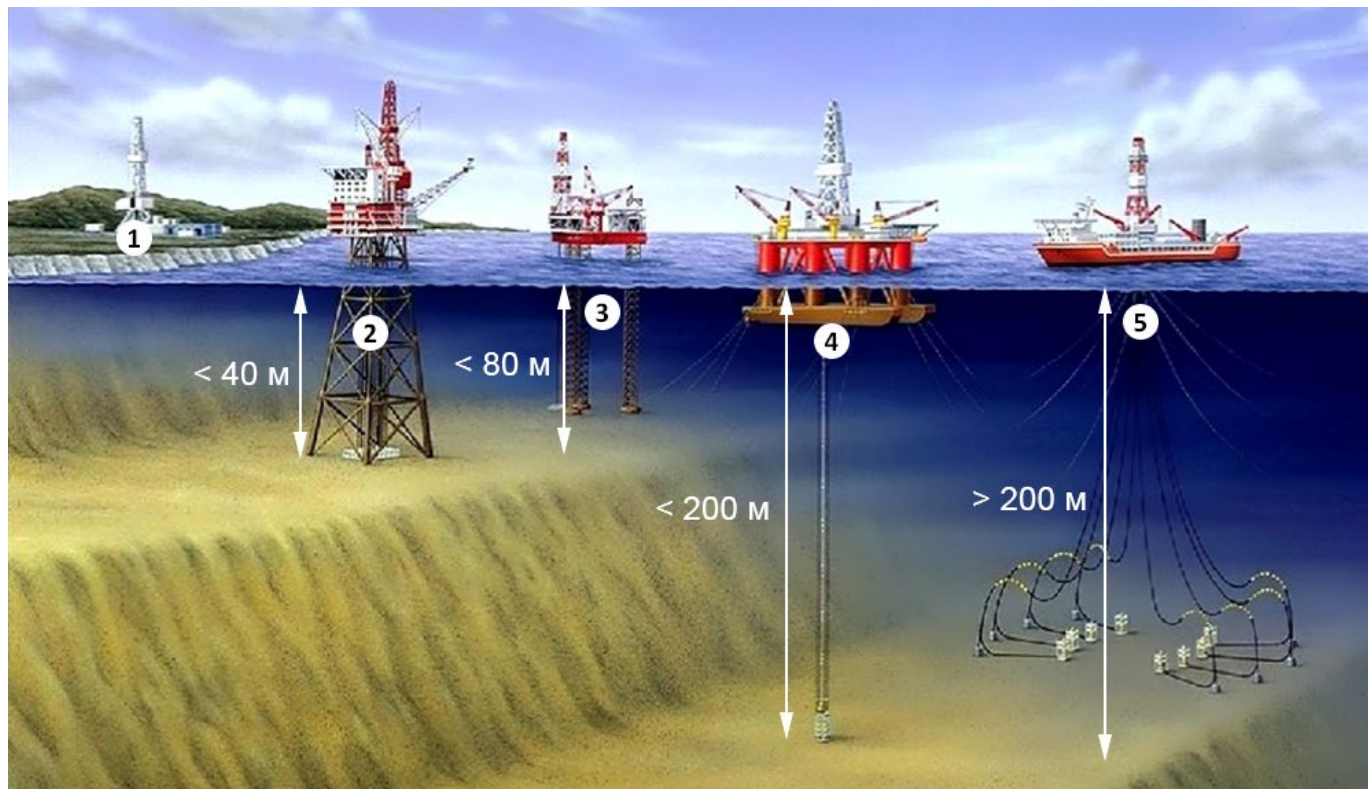
**КЛАССИФИКАЦИЯ ПО  
РАЗМЕРНО-ВИДОВОМУ  
РАЗНООБРАЗИЮ И  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ  
СТРУКТУРЕ В РЕЖИМЕ  
МОНИТОРИНГА**



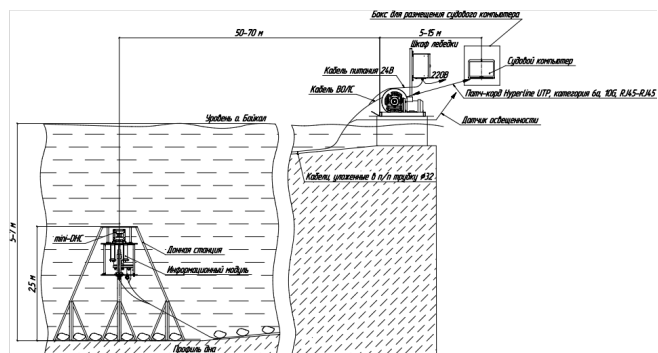
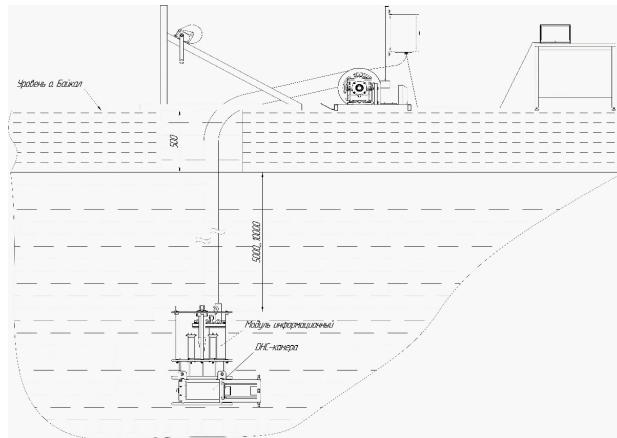
**БИОИНДИКАЦИЯ В  
РЕЖИМЕ  
МОНИТОРИНГА**

Гидробиологическая и токсикологическая лаборатория СП 11-114-2004. «Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтепромысловых станций»

# Создание подводной обсерватории для мониторинга климата и экологического состояния акваторий (Арктика, Камчатка, Сахалин, Сочи...)

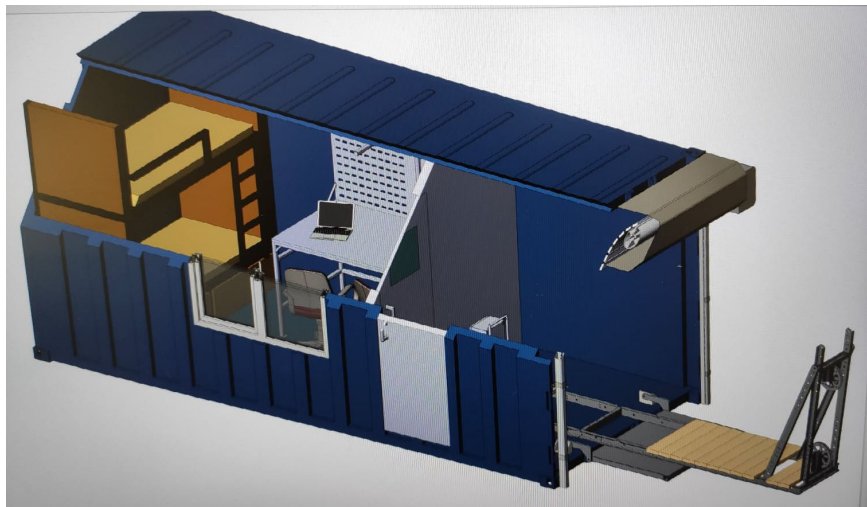


# Предложения. Примеры стационарных постов мониторинга планктона (спускаемый и донная станция)





# Вариант ДНС-станции для стационарного базирования на готовых платформах



- Анализ взвеси морских частиц при проведении дноуглубительных или погрузочно-разгрузочных работ в акватории порта (*причал*)
- Опытная эксплуатация поста биоиндикационного мониторинга поведенческой активности планктона в течение длительного времени (более трех - шести месяцев) на добывающей платформе (*платформа*)
- Анализ кормовой базы лосося (*причал*)
- Обнаружение эпизодического цветения цепей диатомовых водорослей (*причал*)
- Аналитика пузырькового газопереноса в системе донные отложения-водная толща-атмосфера (*причал, судно в дрейфе*)

# Предложения

- **Включение проекта в комплексную межведомственную программу**
- **Организация опытной эксплуатации в акватории поста мониторинга поведенческой активности планктона в течение длительного времени (трех месяцев) с последующим превращением в постоянно действующую станцию мониторинга**
- **Прототипирование сетевой системы цифрового мониторинга акватории с использованием ДНС-технологии измерения взвешенных частиц с целью оценки биоресурсов и прогнозирования развития экологической ситуации**
- **Создание подводной обсерватории (включая цифровую голографическую планктонную обсерваторию) для мониторинга экологического состояния акватории, обеспечивающую непрерывный мониторинг в исследовательских целях, диагностику устойчивого развития экосистем, решения народнохозяйственных задач, задач рационального природопользования.**

# IV международный Форум ассоциаций и консорциумов северных территорий (ФАКСТ–2026) 20-22 апреля 2026, ТГУ, Томск

## Контакты

Дёмин  
Виктор Валентинович,  
первый проректор ТГУ,  
программный директор  
Форума  
[dyomin@mail.tsu.ru](mailto:dyomin@mail.tsu.ru)

Шадуйко  
Ольга Михайловна,  
ученый секретарь  
[dolcezzamia@mail.ru](mailto:dolcezzamia@mail.ru)



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ ПО РАЗВИТИЮ  
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И АРКТИКИ



Национальный  
исследовательский  
Томский  
государственный  
университет



АДМИНИСТРАЦИЯ  
ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ



2024 - 2030  
International Decade of  
Sustainable  
Development



RACAR  
ASSOCIATION OF ARCTIC COUNCILS



Устойчивое развитие  
Арктической зоны РФ



SecNet



Ассоциация коренных  
малочисленных  
народов Севера,  
Сибири и Дальнего  
Востока Российской  
Федерации



СЕВЕРНО — ЕВРОПЕЙСКИЙ, ОТКРЫТЫЙ  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОНСОРЦИУМ



**12** консорциумов  
**> 500** участников

Зарубежные партнеры  
из **10** стран

Министерство иностранных дел  
Российской Федерации



Международный форум  
ассоциаций и консорциумов  
северных территорий





# Благодарю за внимание!

**Дёмин Виктор Валентинович**

Первый проректор ТГУ,  
заведующий лабораторией радиофизических  
и оптических методов изучения окружающей среды

**+7 903 914 3975**

**[dyomin@tsu.ru](mailto:dyomin@tsu.ru)**