

## Сведения о выполненных работах 2022 году

по проекту «**Разработка технологии раннего обнаружения опасных экологических ситуаций в водных акваториях посредством мониторинга поведенческих реакций планктона с помощью погружных цифровых голографических камер**», поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 20-17-00185

Руководитель: Дёмин Виктор Валентинович, канд. физ.-мат. наук

1. Лабораторные исследования различий в реакциях представителей основных систематических отрядов пелагического зоопланктона на фотостимуляцию.

Лабораторные исследования различий в фототропных реакциях представителей основных систематических отрядов пелагического зоопланктона на фотостимуляцию проведены на представителях двух систематических групп морских беспозвоночных: *Moina salina* и *Artemia salina* с помощью погружной голографической камеры.

Применение непрерывно нарастающей интенсивности фотостимуляции позволяет производить следующее по интенсивности воздействие на фоне установившегося уровня реакции, вызванной предыдущей фотостимуляцией. Исследования относительного прироста концентрации рачков в измерительном объеме (Индекс фототропной реакции) при переходе от первой ко второй интенсивности фотостимуляции к концентрации рачков во время второй ступени:  $\Delta C/C_2 = (C_1 - C_2) / C_2 \cdot 100\%$  проведены при сочетании интенсивностей первой и второй фотостимуляций 25 %–50 %, 25 %–75 %, 50 %–75 %, 50 %–100 % и 75 %–100 % от максимальной мощности лазера.

На основании проведённых исследований определён набор показателей фототаксиса для последующего анализа.

2. Лабораторное исследование изменений реакций на парную фотостимуляцию в присутствии токсикантов.

Проведён анализ взаимосвязи поведенческих показателей с токсичностью воздействия (концентрацией и временем действия) токсиканта  $K_2Cr_2O_7$ , и поллютантов: наноформы оксида цинка (nZnO), нанопластика (nPI) и микропластика ( $\mu PL$ ) разной концентрации. Время воздействия контаминированной среды составляло 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, и 3.0 часа.

В качестве показателя токсичности (ТОКС) принято произведение концентрации раствора поллютанта на время нахождения в нём планктона.

Наилучшее значение скорректированного коэффициента детерминации  $R^2$ , отражающего полноту модели  $ТОКС=f(\text{предикторов})$ , получено при контаминации среды нанопластиком.

Влияние микропластика менее выражено.

Полнота моделей взаимосвязи параметров фототаксиса с токсичностью уменьшается для бихромата до 0,28 при  $p < 0.06$  и для nZnO до 0,22 при  $p < 0.01$ .

Индекс фототропной реакции не коллинеарен остальным показателям фототаксиса и имеет самостоятельное диагностическое значение для обнаружения контаминации.

Анализ данных, полученных на сообществах *Moina sal.* показал существенное отличие взаимосвязи показателей фототаксиса с токсичностью воздействия по сравнению с *Artemia sal.*

Реагирование на внесение нанопластика имеет наибольшую связь не с величиной токсического воздействия:  $\text{ТОКС} = 1,52 - 0,15 \cdot C_2$  (adjusted  $R^2 = 0.06$ , вероятность отклонения от линейной зависимости  $p < 0.13$ ), а с концентрацией поллютанта:  $\text{КОНЦ} = 0,12 + 0,44 \cdot C_1 - 0,21 \cdot C_2 + 0,01 \cdot \text{ФР75}$  (adjusted  $R^2 = 0.38$ , вероятность нелинейности модели  $p < 0.01$ ).

Анализ совокупности реакций на весь спектр концентраций нанопластика не показал значимой взаимосвязи. Однако в рамках концентрации, вызывающей достоверную фототропную реакцию ( $0.1 \text{ мг/дм}^3$ ) наблюдалась чёткая зависимость  $\text{ТОКС} = 0,36 - 0,05 \cdot C_2$  (adjusted  $R^2 = 0.82$ , вероятность отклонения от линейной зависимости  $p < 0.01$ ). Аналогичная картина наблюдалась и для контаминации микропластиком:  $\text{ТОКС} = -0,02 + 0,04 \cdot C_2$  (adjusted  $R^2 = 0.87$ , вероятность отклонения от линейной зависимости  $p < 0.01$ ).

Факторный анализ методом главных компонент при варимаксном вращении также выявил наличие трёх факторов. Первый из них определяется уровнем токсичности и концентрацией поллютантов (Eigenvalue = 2.8, % Total – variance = 34), Второй – показателями реагирования на максимальную освещенность  $C_2$  и ФР75 (Eigenvalue = 1.9, % Total – variance = 24). Третий фактор определяется реакцией на слабое освещение  $C_1$ . (Eigenvalue = 1.3, % Total – variance = 17). Можно утверждать, что индекс фоторопной реакции коллинеарен реакции на сильное освещение и не коллинеарен с реакцией на остальные показатели фототаксиса.

Таким образом, установлено, что индекс фототропной реакции, как показатель реакций пелагического зоопланктона на парную фотостимуляцию, в зависимости от систематической принадлежности рачков, тесно связан с внесением поллютантов и может иметь самостоятельное диагностическое значение для обнаружения контаминации среды обитания.

3. Натурная апробация метода ранней диагностики наличия неблагоприятных условий в эпипелагиальной зоне

Для проведения натурной апробации метода была выбрана акватория Зеленецкой губы Баренцева моря, опытный полигон ММБИ (Мурманского Морского Биологического Института) в пос. Дальние Зеленцы и была подготовлена экспедиция ТГУ. Срок проведения экспедиции с 23 июля 2022 г. по 24 сентября 2022 г. В течение длительной непрерывной стоянки были получены временные сигналы с характеристиками среды и зоопланктона. Сопоставление временных сигналов указывает на зависимость фототропной реакции автохтонного биоценоза от изменяющихся факторов среды, в том числе условиях локальной антропогенной нагрузки (внесение солевого поллютанта).

4. Границы применимости метода ранней диагностики наличия неблагоприятных условий в эпипелагиальной зоне

Установлено, что границы применимости метода ранней диагностики наличия неблагоприятных условий в эпипелагиальной зоне с использованием цифровой

голографии определяются несколькими факторами: статистическая представительность измерительного объема, мутность среды, биологическое обрастание оптических элементов ДНС, компоновка станции. Подробно рассмотрены в Методических рекомендациях в разделе Ограничения применимости.

5. Методические рекомендации «Методологические и технологические основы ранней диагностики антропогенных катастроф в эпипелагиальной зоне посредством тест-реакций автохтонного зоопланктона».

Методические рекомендации разработаны на основе методик OECD 2004 Guideline for Testing of Chemicals. OECD 202. *Daphnia* sp., Acute Immobilisation Test, ISO 6341:2012 "Water quality - Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Acute toxicity test", а также методик, разработанных в рамках данного проекта: «Методика регистрации поведенческого ответа зоопланктона с помощью ДНС», «Методика парной фотостимуляции поведенческих реакций зоопланктона», и опыта полевых исследований на оз. Байкал (2020) и Баренцевом море (2022).

6. Три статьи в журналах, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus)».

1) Morgalev Y.N., Dyomin V.V., Morgalev S.Y., Davydova A.Y., Morgaleva T.G., Kondratova O.V., Polovtsev I.G., Kirillov N.S., Olshukov A.S. Environmental Contamination with Micro- and Nanoplastics Changes the Phototaxis of Euryhaline Zooplankton to Paired Photostimulation // *Water*. 2022. Vol. 14, No 23, P. 3918, <https://doi.org/10.3390/w14233918> (2022 г., WOS, SCOPUS, Q1).

2) Дёмин В.В., Давыдова А.Ю., Половцев И. Г., Юдин Н.Н., Зиновьев М.М. Точность определения продольных координат частиц методом цифровой голографии // *Оптика атмосферы и океана*. 2022. Статья принята к публикации 03.11.2022 в журнале «Оптика атмосферы и океана» (Q2, Scopus).

3) Dyomin V, Semiletov I, Chernykh D, Chertoprud E, Davydova A, Kirillov N, Konovalova O, Olshukov A, Osadchiev A, Polovtsev I. Study of Marine Particles Using Submersible Digital Holographic Camera during the Arctic Expedition // *Applied Sciences*. 2022; 12(21):11266. <https://doi.org/10.3390/app122111266> (Q2, Scopus).

7. Подготовка и участие в конференции международного уровня.

Доклад "DHC sensor for the study of rhythmic processes of autochthonous plankton" авторов Dyomin V.V., Polovtsev I.G., Kirillov N.S., Davydova A.Yu., Olshukov A.S. представлен на международной конференции Imaging and Applied Optics Congress 2022 (Канада, г. Ванкувер).

8. Свидетельство (заявка) на РИД.

Получено свидетельство о регистрации программы № 2022669898 от 26 октября 2022 г. «Программа для получения и обработки информации от датчиков гидрофизического модуля погружной цифровой голографической камеры».