

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ

№ 12
2017

ISSN: 2072-9952

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

- Воронич С.С., Роева Н.Н., Гребёнкин Н.Н.,
Зайцев Д.А., Хлопаев А.Г., Зайцева И.А.**
Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения,
подверженных негативному воздействию
промышленных предприятий 3

ЗАГРЯЗНЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АНАЛИЗ И ОХРАНА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Куролан С.А., Серeda Л.О.**
Комплексный подход к оценке состояния почвенного
покрова урбанизированной территории
на примере города Воронежа 8
- Фомина И.А., Саванина Я.В.,
Барский Е.Л., Лобакова Е.С.**
Оптические методы анализа диализной культуры цианобакте-
рий для контроля загрязнения водных объектов 17

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

- Натишвили О.Г., Губеладзе Д.О.**
Некоторые соображения о гидравлическом
моделировании связанных селевых потоков 24
- Алексеев В.В., Громов Ю.Ю., Дивин А.Г., Лакомов Д.В.**
Анализ изображений сельскохозяйственной продукции
в условиях неопределенности 28

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

- Амбросимов А.К.**
Циклонический круговорот Среднего Каспия –
это сезонное контурное течение над склоном
дербентской котловины 41

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Галченко Ю.П.**
Технические и экологические аспекты развития геотехнологий
с избирательной выемкой полезного ископаемого 46
- Список статей, опубликованных в 2017 г. 53
- Правила публикации 56

Учредитель и издатель:
ООО Издательство «Научтехлитиздат»

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1132
Подписной индекс ОАО «Роспечать» 79218
Подписной индекс «Пресса России» 27866

Главный редактор д-р техн. наук, проф.
Т.Г. САМХАРАДЗЕ

Редакция:

Потапов И.И., канд. техн. наук, зам. гл. редактора,
Романов А.А., д-р техн. наук, Авербал С.М., канд. техн. наук,
Сердюк В.С., Боброва Е.А., Паляева Ю.С.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Амбросимов А.К., д-р физ.-мат. наук, проф.
Бабиченко А.В., д-р техн. наук, проф.
Буланова Т.А., доктор техн. наук, проф.
Галиев А.Л., д-р техн. наук, проф.
Галченко Ю.П., д-р техн. наук, проф.
Громов Ю.Ю., д-р техн. наук, проф.
Гуляев Ю.В., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН
Дидрих В.Е., д-р техн. наук, проф.
Зольников В.К., д-р техн. наук, проф.
Калабин Г.В., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель
науки РФ
Каперко А.Ф., д-р техн. наук, проф.
Корашавили А.А., д-р с.-х. наук, проф., акад. НАН Грузии
Крапивин В.Ф., д-р физ.-мат. наук, проф., заслуженный
деятель науки РФ
Круашивили И.Г., д-р техн. наук, проф.
Матвеев В.А., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель
науки РФ
Михайлов Ю.Б., д-р техн. наук, проф.
Натишвили О.Г., д-р техн. наук, проф., акад. НАН Грузии
Пиралишвили Ш.А., д-р техн. наук, проф.,
заслуженный деятель науки и техники РФ
Потапов И.И., канд. техн. наук
Прохоцкий Ю.М., д-р техн. наук
Романов А.А., д-р техн. наук
Рыбин В.М., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки
и техники РФ
Самхарадзе Т.Г., д-р техн. наук, проф.
Скрыль С.В., д-р техн. наук, проф.
Сумин В.И., д-р техн. наук, проф.
Трубецкой К.Н., акад. РАН
Удалова Е.А., д-р техн. наук, проф.
Цивадзе А.Ю., д-р хим. наук, проф., акад. РАН
Чебышов С.Б., д-р техн. наук, проф.
Щербаков Н.С., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель
науки РФ

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
Опубликованные статьи реферируются в реферативных
журналах ВИНИТИ РАН. Журнал цитируется на платформе
Web of Science.

Публикация статей бесплатная. Правом внеочередной
публикации пользуются аспиранты и докторанты.
Материалы, опубликованные в настоящем журнале, не могут
быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы
и распространены без письменного разрешения редакции.
При перепечатке отдельных частей статей ссылка обязательна.

Подписано в печать 07.12.17.
Формат 60×88 1/8. Бумага кн.-журн. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 14,3. Усл. кр.-отт. 32,1. Уч.-изд. л. 19,2. Зак. 491.
Тираж 2 700 экз.

☒ Адрес редакции:
107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2.
☎ Тел.: 8 (499) 168-04-95,
факс: 8 (499) 168-23-58. Бухгалтерия: 8 (499) 168-24-28.
✉ E-mail: esp_red@mail.ru
<http://www.tgizd.ru>

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены
ООО Издательство «Научтехлитиздат»
Отпечатано в ООО Издательство «Научтехлитиздат».
107258, Москва, Алымов пер., д. 17, стр. 2

И.А. Фомина
главный специалист-эксперт
E-mail: irinafomina.net@mail.ru
(Департамент Федеральной службы по надзору
в сфере природопользования
по Центральному федеральному округу)

Я.В. Саванина
канд. биол. наук

Е.Л. Барский
канд. биол. наук

Е.С. Лобакова
доктор биол. наук, профессор
E-mail: gene_b@mail.ru
(Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова)
Москва, Российская Федерация

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДИАЛИЗНОЙ КУЛЬТУРЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Рассмотрены возможности неинвазивного метода, позволяющего проводить мониторинг загрязнений водотоков с использованием диализной культуры цианобактерий *Synechococcus sp.* PCC 6301. Метод биотестирования основан на измерении разности дихроичных отношений полос поглощения белков нативных клеток цианобактерий и их внешних структур (показатель ΔP), регистрируемых посредством ИК-спектроскопии внутреннего отражения. Проведенный статистический анализ данных ИК-спектрофотометрии показал, что выбранный показатель зависит от гидрохимического состава водной среды, но не от численности клеток, длительности их инкубации на загрязненной среде, объема исследуемой среды и вида загрязнителей, по крайней мере, в определенных интервалах условий. Использование методов статистического анализа при оценке влияния уровня загрязненности водотоков на показатель ΔP позволяет уменьшить влияние неоднородностей условий, при которых проводятся отдельные наблюдения и получить достоверный результат при минимальном количестве исследуемых проб. Сопоставление показателя ΔP с основными методами оценки загрязнений водной среды дает основание использовать этот подход для разработки перспективных методов экологического контроля.*

Ключевые слова: цианобактерии; диализное культивирование; водная токсикология; биотестирование; ИК-спектроскопия внутреннего отражения.

I.A. Fomina
chief specialist-expert, Applicant for Degree
E-mail: irinafomina.net@mail.ru
Department of Federal service for supervision in the sphere
of environmental management in the Central Federal district

Ya.V. Savanina
Cand. of Biol. Sciences, Researcher

E.L. Barsky
Cand. of Biol. Sciences, Leading Researcher

E.S. Lobakova,
Doctor of Biol. Sciences, Professor
E-mail: gene_b@mail.ru
Moscow State University. M.V. Lomonosov

OPTICAL METHODS OF THE ANALYSIS OF DIALYSIS CYANOBACTERIA FOR CONTROL OF POLLUTION OF WATER OBJECTS

*The possibility of non-invasive method to monitor the pollution of watercourses using dialysis culture of cyanobacteria *Synechococcus SP.* PCC 6301 are examined. Biotesting method is based on measuring the difference of dichroic relations of absorption bands of native cyanobacteria proteins cells and their external structures (index ΔP) recorded by infrared spectroscopy internal reflection. Conducted a statistical analysis of data, IR spectrophotometry showed that the selected index ΔP depends on the chemical composition of aquatic environment, but not the number of cells, the length of their incubation on waterborne contaminations, volume investigated medium and type of pollutants, at least in certain intervals conditions. Use methods of statistical analysis in the evaluation of the watercourses contamination level impact for ΔP reduces the influence of conditions heterogeneity under which carried out separate observations and get a reliable result when minimum quantity of the studied samples. Comparison of target Δp with major assessment methods of aquatic environment pollution gives reason to use this approach to developing advanced methods of ecological monitoring.*

Keywords: cyanobacteria; dialysis cultivation; water toxicology; biotesting; IF-spectroscopy of internal reflection.

Водотоки (реки, ручьи, каналы) представляют собой объекты, характеризующиеся высокой степенью пространственной и временной неоднородности как по гидролого-гидрохимическим характеристикам, так и по гидробиологическим параметрам. Для точной и своевременной оценки качества воды водоемов и водотоков, определения степени ее загрязнения необходимо дополнить нормативы ПДК (предельно допустимые концентрации в среде некоторого набора веществ) биологическими методами.

Рассмотрены возможности подхода, объединяющего использование диффузионной культуры цианобактерий и методику биотестирования на основе измерения структурных изменений клеточных белков (показатель ΔP) при различных внешних воздействиях, регистрируемых посредством ИК-спектроскопии внутреннего отражения, для экспресс-оценки качества водной среды в лабораторных условиях и контроля загрязнения природного водотока *in situ* в процессе экологического мониторинга.

Материал и методы

В качестве тест-объекта для токсикологических опытов использовали 9...11-суточную культуру одноклеточной цианобактерии *Synechococcus sp.* PCC 6301 (далее в тексте *Synechococcus* 6301), полученную из музея кафедры биоинженерии биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Для биотестирования 7...9-суточную культуру клеток *Synechococcus* 6301, находящуюся в лог-фазе роста, помещали в диализные мешки и истощали 2...3 сут на минимальной среде, разбавленной по основным компонентам, после чего переносили в исследуемые пробы воды. Культуру инкубировали в мешках фирмы Serva как описано ранее [1, 2]. Лабораторные токсикологические эксперименты проводили в люминастате при температуре 20 °С и освещенности 1 500 лк при использовании люминесцентных ламп. В полевых экспериментах (летний период 2013 г.) диализные мешки в защитных пластиковых чехлах с отверстиями для водообмена размещали на вторые или пятые сутки в точках забора проб; при лабораторных исследованиях проб соблюдали максимально приближенные условия по температуре и освещенности.

На основании экспериментальных данных, предоставленных МГУП «Мосводоканал», были выбраны две точки на р. Москве: у с. Каринское выше г. Звенигорода (т. Каринское) и ниже г. Дмитрова (т. Дмитровское). Пробы отбирали

ежемесячно в течение 2012 г. в соответствии с общепринятыми методами [3].

Оценивались количественный (суммарная численность особей, биомасса) и видовой состав сообществ фитопланктонных микроорганизмов в пробах, а также показатели загрязнения водоемов. Определение химических соединений в исследуемых пробах воды проводили в лаборатории МГУП «Мосводоканал». Содержание сульфатов измеряли по ГОСТ 4389–72. Содержание аммонийного азота, нитратов, фосфатов, хлоридов и БПК оценивали по аттестованным в Госстандарте с использованием тестов Spectroquant методикам выполнения измерений (01.1:1.2.4.16–05; 01.1:1.2.3.4.14–05; 0.1.1:1.2.4.41–06 и 01.1:1.2.4.42–06 соответственно).

Состояние клеток цианобактерии-биоиндикатора оценивали с использованием метода спектроскопии внутреннего отражения в ИК-диапазоне [4].

Клеточную суспензию осаждали при 6 000 об./мин, наносили в виде водной пасты на измерительный элемент ИК-спектрофотометра ИКС-29 и подсушивали (для измерений в ИК-диапазоне требуется максимально удалить воду). Метод позволяет оценить количество и пространственное распределение в клетках основных молекул: липидов, белков, нуклеиновых кислот и углеводов.

В работе использовали:

- измерительные элементы из германия;
- пленочную реплику-поляризатор на основе полиэтилена (1 200 штрихов/мм), обладающую степенью поляризации 95...96 % и пропусканием – 46...48 %. Параметры измерительного элемента для внешних структур клеток выбирали, исходя из того, что толщина периферических слоев клеток у различных фототрофных микроорганизмов варьирует в пределах 0,05...0,2 мкм.

Экспериментальные данные в виде ИК-спектров (рис. 1) получали в поляризованном свете при азимутах поляризации 0 и 90° с углом падения светового потока на измерительные элементы равным 45°, что позволяет упростить расчет дихроичных отношений, обусловленных соотношением оптических плотностей параллельной и перпендикулярной компонент плоско поляризованного света ($K=D_{\parallel}/D_{\perp}$, где D_{\parallel} и D_{\perp} – эффективная толщина образца для параллельной и перпендикулярной компонент плоскополяризованного света). $K=2$ свидетельствует об изотропном состоянии объекта; отклонение от этого значения в любую сторону характеризует степень анизотропии.

Состояние клеток можно определять количественно по пространственной ориентации

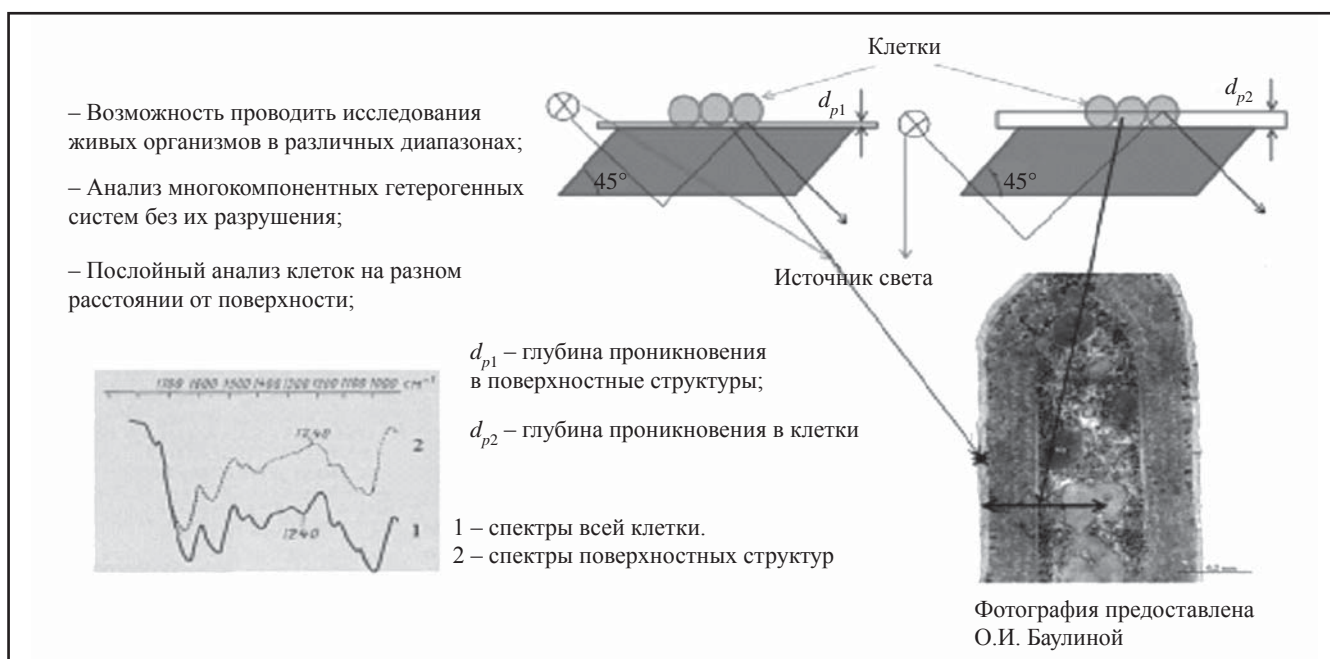


Рис. 1. Метод спектроскопии внутреннего отражения. Послойный спектральный анализ клеток методом спектроскопии внутреннего отражения в ИК-области белковых молекул (упорядоченность), измеряемой в поляризованном свете. Мы обозначили ее как дихроичные отношения (P). В области $1\ 660$ и $1\ 550\ \text{см}^{-1}$, принадлежащей белковым компонентам (амид 1 и амид 2 соответственно для альфа-спиралей и бета-слоев белковых молекул), наблюдали наиболее существенные различия между клетками в разных функциональных состояниях, а также между макромолекулярными структурами целой клетки $P_{\text{кл}}$ и клеточной поверхности $P_{\text{вн.ст.}}$ (рис. 2). Разность между $P_{\text{кл}}$ и $P_{\text{вн.ст.}}$ обозначим ΔP [4]. Уменьшение величины ΔP , как было показано для ряда микроорганизмов, коррелирует со снижением их физиологической активности [4, 5]. Статистический анализ проводили в два этапа. На первом этапе проверяли гипотезу о нормальности распределения ΔP для каждой из выборок. Если

распределение исходных данных было отлично от нормального, использовали методы дисперсионного анализа (Analysis of Variance, ANOVA) и непараметрические критерии Kruskal-Wallis test, Brown-Mood test. За величину статистической значимости принимали $\alpha=0,05$ [6].

Результаты и их обсуждение

Основным методом токсикологического контроля является биотестирование. Биотестированием обычно называют методический прием оценки качества окружающей среды по реакциям или поддающимся учету характеристикам организмов, находящихся в этой среде [7] Тест-объект выступает в роли прибора, выявляющего интегральный биологический эффект комплекса неблагоприятных экологических факторов, в том числе и химической

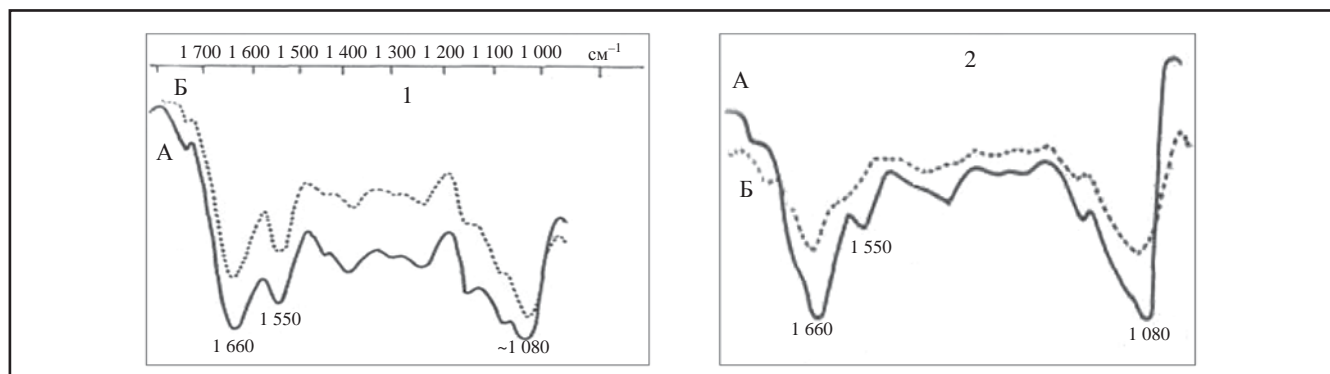


Рис. 2. Дихроичные соотношения для спектральных полос поглощения в ИК-области, полученные в поляризованном свете: 1 – спектры всей клетки; 2 – спектры поверхностных структур клетки. Линии А и Б соответствуют параллельной и перпендикулярной составляющей плоско поляризованного света. Половина диаметра клетки *Synechococcus* 6301 составляет $1,5\ \mu\text{м}$, а толщина периферических слоев клетки – $0,03\ \mu\text{м}$

природы. К числу преимуществ биотестирования относятся оперативность и чувствительность. В последние десятилетия понятие биотестирования чаще всего используют в связи с токсикологическим контролем сред с неопределенным или сложным составом, куда включаются сточные и загрязненные природные воды.

В качестве тест-объекта была выбрана культура свободноживущей одноклеточной цианобактерии *Synechococcus* 6301. Фитопланктонные организмы в настоящее время широко используются для оценки состояния водных систем. Одним из аспектов, осложняющих правильность оценки, является высокая степень пространственной и временной изменчивости структурных характеристик (численность, биомасса, видовое разнообразие) фитопланктонного сообщества. Для стандартизации физиологических откликов целесообразно использовать однородные популяции. В качестве стандартных тест-организмов чаще всего используются альгологически чистые культуры одноклеточных зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, а также другие представители зеленых (реже диатомовых) пресноводных и морских микроводорослей и цианобактерий [8, 9]. Культуры фототрофных микроорганизмов отвечают таким важным для биоиндикатора требованиям как:

- распространенность в природе (космополитизм многих видов);
- они часто являются центрами формирования природных водных сообществ (организмы-эдификаторы);
- высокая чувствительность к воздействию широкого круга токсикантов.

Особенности морфологического строения, высокая скорость размножения, чувствительность к неблагоприятным факторам среды делают этот микроорганизм удобным объектом для биотестирования. Тест-объект способен выявлять интегральный биологический эффект комплекса неблагоприятных экологических факторов, в том числе и химической природы [9].

Физиологическое состояние отдельно взятой однородной популяции можно охарактеризовать как по набору стандартных измеряемых параметров, так называемых РААР (provisional algal assay procedure) [8], так и с помощью ИК-спектроскопии внутреннего отражения путем регистрации преимущественной пространственной ориентации определенных химических связей в макромолекулярных комплексах целых клеток и их внешних структур при различных направлениях поляризации светового потока [4]. Оптические

методы (включая спектральные) используются, например, при оценке роста культур микроорганизмов, включая фотосинтезирующие по оптической плотности культур, при оценке содержания пигментов (хлорофилл, каротиноиды) [10].

Для контроля загрязнения природного водотока *in situ* необходима иммобилизация клеток тест-культуры на носителе. Одной из разновидностей иммобилизованных культур является диффузионное (иначе – диализное) культивирование, при котором клетки культуры отделены от внешнего объема среды мембраной с размерами пор, пропускающих соединения с определенной молекулярной массой. Особенности метода максимально проявляются при высоком соотношении поверхности и объема диализной мембраны: наиболее подходящая форма диализного мешка – удлиненный цилиндр, полностью погруженный в 5...10-кратный объем «внешней среды» [2, 5]. В относительно небольшом объеме диализного мешка накапливается высокая плотности популяция «физиологически молодых», чувствительных к внешним воздействиям клеток, свободному прохождению молекул токсикантов диализная мембрана не препятствует. Культуру в диализном мешке легко перемещать из одной среды в другую, при этом клетки в диализном мешке остаются в стерильных условиях. Это позволяет как обеспечивать истощение клеточных резервов для увеличения чувствительности клеток при одновременном удалении продуктов автоингибирования, так и изучать физиологические изменения культур в любых загрязненных средах, как *in vitro*, так и *in vivo*, включая возможность воспроизводить в лаборатории условия, возникающие в естественных водоемах при загрязнении, например, моделируя разовый или неоднократный сброс путем замены внешней среды [1].

Возможность получать однородный материал для токсикологических исследований выявлена при изучении роста *Synechococcus* 6301 в периодическом суспензионном и диализном режимах культивирования. При переходе диализной культуры в стационарную фазу роста (9...11 сут) более 90 % популяции представлено «молодыми» (3...4 мкм) клетками, которые сохраняют чувствительность к внешним воздействиям и физиологическую активность. При отсутствии внешних воздействий величина ΔP за период измерений (2...5 сут) практически не изменяется, рост культуры, а также изменения таких интегральных параметров среды культивирования, как окислительно-восстановительный потенциал (E_h) и pH, незначительны [2].

Стрессовые воздействия на популяции фотосинтезирующих микроорганизмов вызывают структурную перестройку клеток, сопровождающуюся,

в том числе, переориентацией белковых молекул, которая может быть выявлена с применением метода спектроскопии внутреннего отражения в ИК-диапазоне. Предложенный показатель ΔP (разность дихроичных отношений полос поглощения белков клеток фототрофных микроорганизмов и их внешних структур) отражает происходящие перестройки и может служить диагностическим признаком состояния клеточной популяции фотосинтезирующих микроорганизмов.

Величина ΔP меняется с изменением гидрохимического состава водной среды и может характеризовать уровень ее загрязненности. Установлено, что показатель ΔP зависит главным образом от уровня загрязнения водной среды. Влияние на показатель ΔP таких факторов, как начальная концентрация клеток тест-культуры, время инкубации культуры на загрязненной среде, объем исследуемой среды и вид загрязнителей (органических или минеральных) незначительны, по крайней мере, в заданных интервалах условий [5].

Представляется важным определить наличие корреляции между величиной показателя ΔP и гидрохимическими показателями воды р. Москвы в исследуемых точках с заведомо различным уровнем загрязнения. В связи с этим были построены зависимости для каждого гидрохимического показателя (содержание органики (БПК), содержание аммония, нитратов, сульфатов, фосфатов и хлоридов) от величины индекса ΔP в годичный период эксперимента отдельно для точек Каринское и Дмитровское. Полученные в результате коэффициенты корреляции для гидрохимических показателей представлены в таблице.

Как видно, большинство значений коэффициента корреляции превышает уровень 0,5, что свидетельствует о наличии существенной корреляции между этими показателями для воды р. Москвы в точках Каринское и Дмитровское. Предположение о независимости ΔP от каждого из гидрохимических показателей отвергается на уровне

Коэффициенты корреляции величины индекса ΔP с гидрохимическими показателями проб воды р. Москвы в точках Каринское и Дмитровское в течение 2012 г.

№	Гидрохимический показатель	Коэффициент корреляции r в точках отбора проб	
		Каринское	Дмитровская
1	Аммоний	0,42	0,62
2	Нитраты	0,58	0,51
3	Нитриты	0,75	0,32
4	Сульфаты	0,57	0,64
5	Фосфаты	0,50	0,60
6	Хлориды	0,51	0,35
7	ПБК	0,46	0,59

значимости $\alpha=0,05$. Эти результаты дают нам дополнительное подтверждение наличия взаимосвязи между величиной показателя ΔP и уровнем загрязненности среды обитания фототрофных микроорганизмов.

Кроме токсикологического воздействия загрязняющих веществ, показатель ΔP отражает влияние общего гидрохимического режима, а также изменений температуры и освещенности. Так, в речном протоке *in situ* в августе и особенно в сентябре показатель ΔP заметно ниже по сравнению с его значением, полученным в июле. Возможно, это связано с замедлением обменных процессов у микроорганизмов в связи с сезонным снижением температуры и освещенности в водоеме. При этом разница ΔP , которая отражает уровень загрязненности водной среды между точками отбора проб, сохраняется [4].

Использование методов статистического анализа позволяет уменьшить влияние неоднородностей условий, при которых проводятся отдельные наблюдения и получить достоверный результат при минимальном количестве исследуемых проб [5].

Предложенный метод оценки состояния популяции фотосинтезирующих микроорганизмов по величине ΔP пригоден для определения качества воды в лабораторных исследованиях и в условиях *in situ* при экологическом мониторинге, как это показано при обследовании двух пунктов на р. Москве, заведомо отличающихся по уровню загрязненности [2, 4]. Прямой зависимости между высокими значениями показателя ΔP и интенсивным нарастанием биомассы фитопланктона исследуемых водотоков не обнаружено, а соотношение видов в фитопланктоне зависит от уровня загрязнения среды [10].

Показатель ΔP может быть эффективно использован при оценке загрязнений водной среды и для тех фототрофных микроорганизмов, которые отличаются от *Synechococcus* 6301 по размерам, строению клетки, организации внешних структур, а также по физиологии [2].

Заключение

Разработанный подход, по мнению авторов, позволяет по-новому строить стратегию охраны водных объектов и обоснованно выбирать уровень снижения поступления загрязняющих веществ, выявлять неорганизованные (аварийные, несанкционированные) источники сброса.

Работа выполнена при поддержке НИР «Физико-химические основы молекулярной биоинженерии».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева А.Ф., Барский Е.Л., Саванина Я.В., Королева С.Ю., Королев Ю.Н., Лобакова Е.С. Диализное культивирование микроорганизмов как адекватная модель контроля популяции при исследовании экосистем // *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*. М.: Изд-во Московского ун-та, 2010. № 2. С. 15...20.
2. Барский Е.Л., Саванина Я.В., Фомина И.А., Лобакова Е.С. Оценка качества водной среды с использованием цианобактерий // *Материалы XXIV Международной конференции «Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии»*. М.: ООО «Новые информационные технологии». 2015. С. 224...233.
3. Шлычкова В.В., Брызгалов В.А., Хоружая Т.А., Назарова А.А. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. *Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. РД 52.24.309–92*. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 67 с.
4. Калабеков А.Л., Королев Ю.Н. *Экологический мониторинг: Некоторые методы неинвазивного анализа интактных клеток*. М.: Прима-Пресс, 2000. С. 179.
5. Фомина И.А., Саванина Я.В., Барский Е.Л., Панченко Л.А., Лобакова Е.С. Метод ИК-спектроскопии внутреннего отражения клеток цианобактерий и их внешних структур для оценки уровня загрязнения водотоков // *Проблемы региональной экологии*. 2016. № 6. С.18...22.
6. Мятлев В.Д., Панченко Л.А., Ризниченко Г.Ю., Терехин А.Т. *Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. Университетский учебник*. М.: Академия, 2009. 315 с.
7. Филенко О.Ф., Михеева И.В. *Основы водной токсикологии*. 2007. М.: Колос. 144 с.
8. Ипатова В.И., Михеев М.А. Сравнительная чувствительность микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* к двум эталонным токсикантам //

Науки о биосфере: инновации. М.: МАКС Пресс, 2015. С. 132...134.

9. Nido A.J., Wang W.X., Juneau P. Comparison of Cd, Cu and Zn toxic effects on four marine phytoplankton by pulse-amplitude modulated fluorometry. *Environ. Toxicol. Chem.* 2005. Vol. 24. № 10, pp. 2603...2611.
10. Соловченко А.Е., Чивкунова О.Б., Семенова Л.Р., Селях И.О., Щербаков П.Н., Карпова Е.А., Лобакова Е.С. Влияние стрессов на содержание пигментов и жирных кислот липидов в клетках микроводоросли *Desmodesmus* sp. из беломорского гидроида // *Физиология растений*. 2013. Т. 60. № 3. С. 1...10. DOI.
11. Саванина Я.В., Барский Е.Л., Фомина И.А., Лобакова Е.С. Биотестирование с использованием спектроскопии внутреннего отражения и биоиндикация // *Материалы XXVI Международной конференции «Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии»*. М.: ООО «Новые информационные технологии». 2017. С. 105...114.

REFERENCES

1. Lebedeva A.F., Barsky E.L., Savanina Ya.V., Koroleva S.Yu., Korolev Yu.N., Lobakova E.S. Dializnoe kul'tivirovanie mikroorganizmov kak adekvatnaya model' kontrolya populyacii pri issledovanii ekosistem [Dialysis cultivation of microorganisms as the appropriate model of population control in ecosystem research]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya* [Moscow University biological sciences bulletin]. 2010. Vol 65. № 2, pp. 56...60.
2. Barsky E.L., Savanina Ya.V., Fomina I.A., Lobakova E.S. Ocenka kachestva vodnoi sredy s ispol'zovaniem cianobakterii [Quality assessment of aqueous medium with use of cyanobacteria]. *Materialy XXIV Mejdunarodnoi konferencii «Novye informacionnye tehnologii v medicine, biologii, farmakologii i ekologii»*. [Materials of the XXIV International Conference «New Information Technology in Medicine, Pharmacology, Biology and Ecology»]. М.: ООО «Novye informacionnye tehnologii» [Moscow: Publishing house «ООО «Novye informacionnye tehnologii»]. 2015, pp. 224...233.
3. Schlychkova V.V., Bryzgalo V.A., Choruzhaya T.A., Nazarova A.A. Organizaciya i provedenie rejimnyh nablyudenii za zagryazneniem poverhnostnyh vod суши na seti Roskomgidrometa [Organization and conduct of routine observations of surface water pollution on the Roskomgidromet network]. *Metodicheskie ukazaniya. Ohrana prirody. Gidrosfera*.

- RD 52.24.309–92 [Methodical instructions. Protection of Nature. Hydrosphere. RD 52.24.309–92]. SpB.: Roshydrometeoizdat [St.-Petersburg: Publishing house «Roshydrometeoizdat»]. 1992. 67 p.
4. Kalabekov A.L., Korolev Yu.N. *Ekologicheskii monitoring: Nekotorye metody neinvazivnogo analiza intaktnykh kletok* [Environmental monitoring: Some methods of non-invasive analysis of intact cells]. M.: Prima-Press [Moscow: Publishing house «Prima-Press»]. 2000. 179 p.
 5. Fomina I.A., Savanina Ya.V., Barsky E.L., Lobakova E.S. [The method of IR-spectroscopy internal reflection of cyanobacteria cells and their external structures to assess the level of contamination of watercourses]. *Проблемы региональной экологии* [Problems of regional ecology]. 2016. № 6, pp. 18...22.
 6. Myatlev V.D., Panchenko L.A., Riznichenko G. Yu., Terekhin A.T. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika. Matematicheskie modeli. Universitetskii uchebnik* [Probability Theory and mathematical statistics. Mathematical model. A University textbook]. M.: Academy [Moscow: Publishing house «Academy»]. 2009. 315 p.
 7. Filenko O.F., Miheeva I.V. *Osnovy vodnoi toksikologii* [Fundamentals of aquatic toxicology]. 2007. M.: Kolos [Moscow: Publishing house «Kolos»]. 144 p.
 8. Ipatova V.I., Miheev M.A. Sravnitel'naya chuvstvitel'nost' mikrovodorosli *Scenedesmus quadricauda* k dvum etalonnym toksikantam [Comparative sensitivity of microalgae *Scenedesmus quadricauda* to two reference toxicants]. *Nauki o biosfere: innovacii* [Biosphere Sciences: Innovations]. M.: MAKS Press [Moscow: Publishing house «MAKS Press»]. 2015, pp. 132...134.
 9. Nido A.J., Wang W.X., Juneau P. Comparison of Cd, Cu and Zn toxic effects on four marine phytoplankton by pulse-amplitude modulated fluorometry. *Environ. Toxicol. Chem.* 2005. Vol. 24. № 10, pp. 2603...2611.
 10. Solovchenko A., Chivkunova O., Semenova L., Selyakh I., Shcherbakov P., Karpova E., Lobakova A. [Stress-Induced Changes in Pigment and Fatty Acid Content in the Microalga *Desmodesmus* sp. Isolated from a White Sea Hydroid]. [Plant Physiology]. Vol. 60. № 3, pp. 313...321.
 11. Savanina Ya.V., Barsky E.L., Fomina I.A., Lobakova E.S. [Bioassay using internal reflection spectroscopy and bioindication]. *Materialy XXIV Mejdunarodnoi konferencii «Novye informacionnye tehnologii v medicine, biologii, farmakologii i ekologii»*. [Materials of the XXIV International Conference «New Information Technology in Medicine, Pharmacology, Biology and Ecology»]. M.: OOO «Novye informacionnye tehnologii» [Moscow: Publishing house «OOO «Novye informacionnye tehnologii»]. 2017, pp. 105...114.



Информация об авторах

Фомина Ирина Алексеевна, главный специалист-эксперт, соискатель

E-mail: irinafomina.net@mail.ru

Департамента Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Центральному федеральному округу
117105, Москва, Российская Федерация, Варшавское шоссе, д. 39 а

Саванина Янина Вячеславовна, канд. биол. наук, научный сотрудник

Барский Евгений Львович, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

Лобакова Елена Сергеевна, доктор биол. наук, профессор

E-mail: gene_b@mail.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

119991, Москва, Российская Федерация, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

Information about authors

Fomina Irina Alekseevna, chief specialist-expert, Applicant for Degree

E-mail: irinafomina.net@mail.ru

Department of Federal service for supervision in the sphere of environmental management in the Central Federal district
117105, Moscow, Russian Federation, Varshavskoe highway, house 39 a

Savanina Yanina Vyacheslavovna, Cand. of Biol. Sciences, Researcher

Barsky Evgeny Lvovich, Cand. of Biol. Sciences, Leading Researcher

Lobakova Elena Sergeevna, Doctor of Biol. Sciences, Professor

E-mail: gene_b@mail.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Moscow, Russian Federation, 119991, GSP-1, street of Leninskie hills, the house 1, building 12