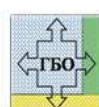


**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ВНУТРЕННИХ ВОД ИМ. И.Д. ПАПАНИНА
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ И ЭВОЛЮЦИИ
ИМ. А.Н. СЕВЕРЦОВА
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ГИДРОБИОЛОГИИ И ИХТИОЛОГИИ РАН
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО ПРИ РАН
РУССКОЕ БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДЕПАРТАМЕНТ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ**



ВОДОРОСЛИ: ПРОБЛЕМЫ ТАКСОНОМИИ, ЭКОЛОГИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОНИТОРИНГЕ

**Материалы докладов
III Международной научной конференции
24 – 29 августа 2014 г.
Борок, Россия**

Ярославль – 2014

УДК 582.2/.3
ББК 28.591
28.082
В–624

Издание осуществлено при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 14-04-20106-г

**Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге. Сборник материалов докладов III Международной научной конференции, 24 – 29 августа 2014 года / Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. – Ярославль : Филигрань , 2014. – 252 с.
ISBN 978-5-906682-15-4**

Издание содержит материалы исследований по актуальным проблемам систематики, экологии, географии водорослей, использования водорослей для оценки состояния окружающей среды и в мониторинге. Издание рассчитано на специалистов, связанных с изучением водорослей в водных и наземных экосистемах, экологов, гидробиологов, преподавателей, аспирантов, студентов ботанических и экологических специальностей.

Ключевые слова: водоросли, систематика, экология, география

Подготовка к печати
доктор биологических наук Н.М. Минеева
доктор биологических наук Л.Г. Корнева

Algae: problems of taxonomy, ecology and application in monitoring. Proceedings of the 3d International scientific conference, 24 – 29 August 2014 / I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters – Yaroslavl : Filigran , 2014. – 252 p.

The book contains materials on actual problems of algae taxonomy, ecology, geography as well as the use of the algae for assessing environment state and monitoring. The edition is intended for specialists associated with the study of algae in aquatic and terrestrial ecosystems, ecologists, hydrobiologists, teachers, post-graduates and students of botany and ecology.

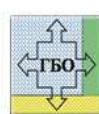
Keywords: algae, taxonomy, ecology, geography

Preparation for publishing
Dr. N.M. Mineeva, Dr. L.G. Korneva

ISBN 978-5-906682-15-4

© Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина
РАН, макет, оформление, верстка, 2014
© Коллектив авторов, текст, 2014

**RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
I.D. PAPANIN INSTITUTE FOR BIOLOGY OF INLAND WATERS
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
A.N. SEVERTSOV INSTITUTE OF ECOLOGY AND EVOLUTION
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
RESEARCH COUNCIL HYDROBIOLOGY AND ICHTHYOLOGY
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
HYDROBIOLOGICAL SOCIETY RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
RUSSIAN BOTANICAL SOCIETY
RUSSIAN BASIC RESEARCH FOUNDATION
DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES
OF YAROSLAVL REGION**



ALGAE: PROBLEMS OF TAXONOMY, ECOLOGY AND USE IN MONITORING

**Proceedings
of the 3d International Scientific Conference
24 – 29 August 2014
Borok, Russia**

Yaroslavl – 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Водоросли – неотъемлемый компонент водных и наземных экосистем. В грандиозных масштабах они осуществляют процесс преобразования солнечной энергии в химическую энергию продуктов фотосинтеза, необходимую для поддержания жизни и круговорота вещества и энергии в биосфере нашей планеты, создают энергетическую базу для существования организмов других трофических уровней.

III Международная научная конференция и школа для молодых ученых «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» организована лабораторией альгологии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН и проводится по решению II Всероссийской научно-практической конференции «Водоросли: проблемы таксономии, экологии, использование в мониторинге» (Сыктывкар, 5–9 октября 2009 г., Институт биологии Коми НЦ УрО РАН) при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Более 140 докладов из 42 городов и 5 стран (России, Беларуси, Украины, Ирана, Филиппин) представлено для участия в конференции. Тематика конференции охватывает широкий круг проблем в области таксономии, географии, генетики и экологии различных групп водорослей. Представленные результаты разноплановых исследований сгруппированы по следующим основным направлениям: современное состояние таксономии водорослей (морфологические, функциональные, молекулярно-генетические аспекты); разнообразие, экология и география водорослей, проблема биологических инвазий; структура и функционирование альгоценозов, проблема вредоносного «цветения» воды водорослями; использование водорослей в оценке качества среды, в многолетнем мониторинге.

Л.Г. Корнева

FOREWORD

Algae are an integral component of aquatic and terrestrial ecosystems. They carry out the processes of converting solar energy into chemical energy, i.e., the products of photosynthesis in the grand scale necessary to sustain life and the cycle of the matter and energy in biosphere of the planet Earth, create energy basis for the existence of organisms the other trophic levels.

III International Conference and School for the young scientists «Algae: problems of taxonomy, ecology, and application in monitoring» is organized by the laboratory of Algology in I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS according to the decision of II Russian Scientific-Practical Conference «Algae: problems of taxonomy, ecology, use monitoring» (Syktyvkar, October 5–9, 2009, Institute of Biology Komi SC UD RAS) with the support of the Russian Foundation for Basic Research. Over 140 papers from 42 cities and 5 countries (Russia, Belarus, Ukraine, Iran, Philippines) were presented for the conference participation. Conference topics cover a wide range of problems in taxonomy, geography, genetics, and ecology of different groups of algae. The results of various studies are combined in the following areas: current status of algae taxonomy (morphological, functional, molecular-genetic aspects); diversity, ecology, and geography of algae, problem of biological invasions; structure and functioning of algal communities, problem of harmful algal blooms; use of algae in quality assessment of the environment and in the long-term monitoring.

Ludmila Korneva

**Секция 1. Современное состояние таксономии водорослей
(морфологические, функциональные,
молекулярно-генетические аспекты).
Section 1. Current status of the taxonomy of algae
(morphological, functional, and molecular genetic aspects).**

Ш.Р. Абдуллин

КЛАССИФИКАЦИИ ЖИЗНЕННЫХ ФОРМ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРΟΣЛЕЙ
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия, abdullinshrsu@mail.ru

Sh.R. Abdullin

CLASSIFICATIONS OF LIFE FORMS OF CYANOBACTERIA AND ALGAE

Bashkir State University, Ufa city, Russia, abdullinshrsu@mail.ru

Классификация жизненных форм (ЖФ) хорошо разработана для высших растений, однако цианобактерии и водоросли в этом отношении изучены недостаточно. Цель исследования – разработать классификацию ЖФ цианобактерий и водорослей на основе показателя удельной поверхности и типа морфологической структуры. ЖФ – это комплекс морфологических, физиологических и анатомических признаков, отражающих приспособленность вида к условиям среды. (Миркин и др., 2000; Миркин, Наумова, 2012). Огромное разнообразие водорослей можно свести к нескольким типам морфологической структуры (по отношению к цианобактериям используют термин «основные формы строения тела»), которые соответствуют основным ступеням морфологической дифференциации тела водорослей в процессе их эволюции (Жизнь растений, 1977; Масюк, 1985; Водоросли..., 1989; Саут, Уиттик, 1990). Предлагается использовать тип морфологической структуры тела водорослей в экологии в качестве критерия выделения ЖФ (Новичкова-Иванова, 1980).

Классификация ЖФ разработана для почвенных (Голлербах, Штина, 1969) и планктонных водорослей (Huber-Pestalozzi, 1938; цит. по: Киселев, 1969). Существуют классификации ЖФ морских водорослей (Sears, Wilce, 1975; Garbary, 1976). Известно, что водоросли входят в классификацию форм роста Я. Баркмана (Barkman, 1988; цит. по: Миркин, Наумова, 2012) вместе с высшими растениями. В альгологии также широко применяются термины «макроводоросли (макрофиты)» и «микроводоросли (микрофиты)», которые тоже можно отнести к ЖФ. В гидробиологии под термином «макрофиты» понимаются «макроскопические растительные организмы вне зависимости от их систематического положения, установление родовой (видовой) принадлежности которых не требует применения оптических приборов с большим увеличением» (Распопов, 1985; цит. по: Лапиров, 2002; Папченков и др., 2006). Однако, на наш взгляд, данное определение относительно водорослей является довольно субъективным и не совсем удачным. Известно, что одним из основных критериев, связанных с интенсивностью фотосинтеза и метаболическим обменом, является показатель удельной поверхности (S/W), где S – поверхность организма, а W – его масса (Хайлов, 1984, 1988; Миничева, 1991). Согласно Г.Г. Миничевой (1997), основными габитуальными стадиями морфологического ряда, отражающего внешнее разнообразие водорослей, считаются шарообразная, цилиндрическая и пластинчатая формы. Морфологический ряд: шарообразная – цилиндрическая – пластинчатая форма водорослей, по критерию регуляторности обменных процессов можно признать прогрессивным, так как при переходе от шарообразного к пластинчатому габитусу увеличивается степень независимости формы тела от показателя удельной поверхности, что позволяет без ущерба для обменных процессов увеличивать размерно-весовые параметры и изменять конфигурацию таллома. Морфологический ряд: шарообразная – цилиндрическая – пластинчатая форма водорослей, по

критерию интенсивности обменных процессов можно признать и функциональным, так как он отражает увеличение функциональной активности при переходе от мелких высокопродуктивных шарообразных форм к крупным низкофункциональным пластинчатым. Кроме того, этот ряд по критерию соответствия изменению характера автотрофного процесса при сукцессии экосистем и эволюции биосферы также можно признать сукцессионным и эволюционным, так как он отражает формирование основных габитуальных форм водорослей, связанное с замедлением обменных процессов при становлении климаксного сообщества в процессе эволюции (Миничева, 1997). Это согласуется со схемой наиболее крупных аро- и идиогенезов в морфологической эволюции водорослей (Масюк, 1985), в соответствии с которой монадный, амебоидный, гемимонадный, коккоидный и сарциноидный типы морфологической структуры можно отнести к шарообразной габитуальной форме; нитчатый, разноритчатый, сифонокладальный и сифональный – к цилиндрической; псевдопаренхиматозный и паренхиматозный – к пластинчатой (Миничева, 1997).

Однако, например, мелкие нитчатые формы, хотя и соответствуют цилиндрической габитуальной форме, но обладают низким критерием регуляторности обменных процессов, соответствующим значениям такового у шарообразных форм и т.п. Поэтому, согласно рассмотренным данным, предлагается классификация ЖФ водорослей на макро-, мезо- и микроводоросли на основе применения морфофункциональных аспектов разнообразия их формы, в частности, показателя удельной поверхности и типа морфологической структуры. Соответственно, к микроводорослям можно отнести виды с монадным, амебоидным, гемимонадным, коккоидным и сарциноидным типом морфологической структуры, а также мелкие многоклеточные водоросли с цилиндрическим строением (нитчатые, разноритчатые, сифонокладальные и сифональные). К мезоводорослям относятся виды с нитчатым, разноритчатым, сифонокладальным и сифональным типом морфологической структуры. Возможно, к данной группе могут быть отнесены и крупные колониальные водоросли (пальмеллоидные или тетраспоральные, ценобиальные), а также некоторые виды с псевдопаренхиматозным и паренхиматозным типом морфологической структуры. К макроводорослям, соответственно, относятся виды с псевдопаренхиматозным и паренхиматозным типом морфологической структуры, а также некоторые виды с нитчатым, разноритчатым, сифонокладальным и сифональным типом морфологической структуры.

Г.Г. Миничевой (1997) была изучена функциональная активность водорослей северо-западной части Черного моря в зависимости от внешней формы их тела. Она установила, что у шарообразной формы (фитопланктон) значение показателя удельной поверхности изменяется от 107 до 3250 м²/кг, у цилиндрической формы (фитобентос) – от 9.4 до 1200 м²/кг, у пластинчатой (фитобентос) – от 6.3 до 63.0 м²/кг. Согласно этим данным, на наш взгляд, к макроводорослям можно отнести виды с показателем удельной поверхности от 6.3 до 63.0 м²/кг; к мезоводорослям – с показателем удельной поверхности от 63 до 1200 м²/кг; к микроводорослям – с показателем удельной поверхности от 1200 м²/кг и выше. После получения обобщенных данных по показателю удельной поверхности у водорослей разных морфологических структур, станет возможным четко выделять жизненные формы макро-, мезо- и микроводорослей на основе функционально зависящего параметра (диаметра у шарообразной и цилиндрической форм и толщины пластины – у пластинчатых (Миничева, 1997) и типа морфологической структуры, что позволит значительно облегчить практическую работу. Согласно данным литературы (Миничева, 1997), процентное соотношение различных форм таллома у разных видов и даже у одного рода отражает условия среды в какой-либо экосистеме, а также ту или иную стадию сукцессии. Соответственно, процентное соотношение макро-, мезо- и микроводорослей в той или иной экосистеме также будет отражать условия среды и сукцессионную стадию экосистемы.

Таким образом, термины «макроводоросли», «мезоводоросли» и «микроводоросли» перестают быть размытыми понятиями, а получают твердое определение на основе показателя удельной поверхности и типа морфологической структуры, что позволит более полно применять данные термины на практике.

С.А. Андреева¹, Е.С. Гусев², Н.В. Анненкова³, М.С. Куликовский²
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЛОГЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРЕСНОВОДНЫХ МОНОШОВНЫХ ДИАТОМОВЫХ
ВОДОРΟΣЛЕЙ: ЗНАЧЕНИЕ ШВА В СИСТЕМАТИКЕ ГРУППЫ

¹Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт Петербург, Россия, tiapa93@mail.ru

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия,
algogus@yandex.ru, max-kulikovsky@yandex.ru

³Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

S.A. Andreeva¹, E.S. Gusev², N.V. Annenkova³, M.S. Kulikovskiy²
MOLECULAR PHYLOGENY OF SOME FRESHWATER MONORAPHID DIATOMS: SIGNIFICANS OF
THE RAPHE IN SYSTEMATICS OF THE GROUP

¹Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, tiapa93@mail.ru

²I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia,
algogus@yandex.ru, max-kulikovsky@yandex.ru

³Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

Ранее наличию или отсутствию шва в систематике диатомовых водорослей уделялось очень большое внимание. Примером этому может служить выделение всех одношовных диатомовых в порядок *Achnanthes* Silva, принятый в работе Round et al. (1990). Использование молекулярно-генетических методов позволяет рассмотреть филогению моношовных родов, также используя для этого данные по строению хлоропластов и морфологию створок. В цикле работ Bruder и Medlin (2007, 2008a,b) использованы три генетических маркера SSU rRNA, LSU rRNA и *rbcL*. В этих работах были представлены наиболее обширные данные, полученные для пресноводных пеннатных диатомовых молекулярно-генетическими методами. Одношовные диатомовые водоросли не показаны единой группой. Во-первых, на две группы распадаются выделенные ранее из *Achnanthes* sensu lato роды *Achnantheidium* Kützing, *Pauliella* Round & Basson, *Planothidium* Round & Bukhtiyarova. Одну группу формируют *Planothidium* и род *Cocconeis* Ehrenberg, а вторую *Pauliella* и *Achnantheidium* (Bruder и Medlin 2008a). В целом эти таксоны близки *Navicula brockmannii* Hustedt, который был переведен в род *Adlafia* Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin (Bruder и Medlin 2008a). Род *Adlafia*, согласно полученным данным, близок большой ветви цимбеллоидно-гомфонеомоидных диатомовых водорослей. Род *Achnanthes* sensu stricto близок Bacillariales, согласно SSU rRNA. По мнению Bruder & Medlin (2008a) сходство между *Achnanthes* sensu stricto и Bacillariales основано на строении порового аппарата, когда внешние отверстия порового аппарата покрыты крибрумом, а внутренние отверстия не покрыты чем-либо. Таким образом, по данным Bruder & Medlin (2008a) следует отказаться от порядка Achnanthesales, предложенного Round et al. (1990). Другой моношовный род *Lemnicola* был использован для построения филогенетического дерева в работе Ruck & Theriot (2011). На основе консенсусного дерева, построенного по трем молекулярным маркерам SSU rDNA, *rbcL* и *psbC*, было показано, что этот род наиболее близок роду *Cocconeis* и, в целом, встраивается в группу цимбеллоидных водорослей. То же самое было показано в работе Kociolek et al. (2013). В нашей работе мы использовали последовательности SSU rRNA и *rbcL* для изучения филогении одношовных родов к *Achnantheidium*, *Psammothidium* Bukhtiyarova & Round и *Rossithidium* Round & Bukhtiyarova. Нами рассматривается положение этих родов и их родственные связи. Анализируется морфология и строение хлоропластов у изученных таксонов. Анализ этих таксонов позволяет рассмотреть значение шва в систематике диатомовых водорослей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 14-04-01406.

- Bruder K., Medlin L.K. Molecular assessment of phylogenetic relationships in selected species/genera in the naviculoid diatoms (Bacillariophyta). I. The genus *Placoneis* // *Nova Hedwigia*. 2007. V. 85. №3-4. P. 331–352.
- Bruder K., Medlin L.K. Morphological and molecular investigations of naviculoid diatoms. III. Hippodonta and *Navicula* s.s. // *Diatom Research*. 2008 a. V. 23(2). P. 331–347.
- Bruder K., Medlin L.K. Morphological and molecular investigations of naviculoid diatoms. II. Selected genera and families // *Diatom Research*. 2008 b. V. 23(2). P. 283–329.
- Kociolek J.P., Stepanek J.G., Lowe R.L. et al. Molecular data show the enigmatic cave-dwelling diatom *Diprora* (Bacillariophyceae) to be a raphid diatom // *European J. Phycology*. 2013. V. 48(4): 474–484.
- Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. *The Diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press. 1990. 747 p.
- Ruck E.C., Theriot E.C. Origin and evolution of the canal raphe system in diatoms // *Protist*. V. 162. P. 723–737.

О.В. Анисимова

МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ДЕСМИДИЕВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (DESMIDIALES, CHAROPHYTA) ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ В СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОП

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,
flora_oa@mail.ru

O.V. Anissimova

METHODS OF PROCESSING SAMPLES OF DESMIDS (DESMIDIALES, CHAROPHYTA) FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, flora_oa@mail.ru

Идентификация десмидиевых водорослей сопряжена со значительными трудностями в связи с их высокой изменчивостью как в природных популяциях, так и в культуре. Внешний вид клеток и орнаментация клеточной стенки до сих пор используют как основные таксономические признаки при определении видов. Однако, если очертания клеток обычно хорошо различимы в световой микроскоп, то особенности орнамента оболочки (форма, размер и характер расположения бородавок, шипиков и других структур) не всегда удается разглядеть. Начиная с 1960-х гг., были привлечены методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). В то же время исследователи столкнулись со сложностями приготовления препаратов для СЭМ: с одной стороны, было необходимо выполнять обезвоживание материала, с другой – не потерять редко встречающиеся и мелкоклеточные таксоны. Кроме того, большинство десмидиевых водорослей вырабатывает полисахаридную слизь, которая покрывает клетку снаружи и маскирует большую часть орнамента (Marchart 1973, Pickett-Heaps 1973).

На протяжении ряда лет проводили подбор подходящих методик, в основном, работая на культурах клеток водорослей. Так, в серии работ (Lyon, 1969; Pickett-Heaps 1973, 1974) был разработан подход, включающий четыре основных стадии: обработка от слизи с помощью фермента глюзулазы; фиксация в глутаровом альдегиде и постфиксация в оксиде осмия; обезвоживание в серии спирта или ацетона и сушка на воздухе или в критической точке. Предложенный комплекс имеет свои ограничения, прежде всего, касающиеся работы с потенциально-опасными для человека веществами (осмий, глутаровый альдегид) на протяжении длительного времени (до 6 ч). Кроме того, не всегда удается избавиться от слизи, даже используя ферментативную обработку, вследствие чего многие препараты оказываются не пригодными для исследования.

В 1976 г. была предложена упрощенная методика, применимая и для природных образцов (Gough et al., 1976). При фиксации клеток, и, одновременно, для удаления слизи было предложено использовать комплексный фиксатор FAA (7:2:1:1 – вода : формалин : ледяная уксусная кислота : 95% этиловый спирт). При большом количестве слизи рекомендовалось обрабатывать клетки ультразвуком в 1N HCl в

течение 5–45 с. Использование этого метода позволяло достигнуть лучшей подготовки клеток и в значительной мере сокращало время приготовления препаратов.

На протяжении последующих десятилетий исследователи применяли перечисленные методы приготовления препаратов, добиваясь хорошего качества фотографий исключительно количеством обработанного материала. Однако в 2013 г. была предпринята новая попытка подобрать реактив, удаляющий слизь с поверхности клеток (Tavera, Calderón, 2013). Авторы предложили использовать бромид цетилтриметиламмония (СТАВ) для фиксации клеток в течение 24 ч. По сравнению с FAA, СТАВ показал лучший результат, но применяли его только на клетках из культуры, тем самым не используя предварительную фиксацию, что необходимо для природного материала.

Наши исследования показали, что при работе с природным материалом нельзя предсказать, насколько хорошо удалится слизь, окружающая клетки, так как разные виды вырабатывают разное ее количество, но длительное хранение материала в FAA почти всегда дает неплохой результат (Анисимова, 2013). Кроме того, возможно полностью отказаться от постфиксации в глутаровом альдегиде, осмии и выполнять дегидратацию в серии этанола, что уменьшает негативное воздействие на здоровье исследователя.

Другая проблема – это потеря мелких клеток в мусоре, обильном в природных образцах. Предварительная фильтрация через марлю (Gough et al., 1976) решала эту проблему только отчасти, так как в этом случае сильно сокращалась численность крупноклеточных и нитчатых десмидиевых. В большинстве последующих работ авторы использовали фильтрацию, центрифугирование или отстаивание, либо этот момент вовсе не оговаривали в методическом разделе своих статей (Pickett-Heaps, 1980; Couté, Thérézien, 1986; Couté, Iltis, 1988; Wei, 1991). В 2010 г. вышла статья, в которой автор применил поли-L-лизин для адгезии клеток на стекла (Šťastný, 2010). Этот способ позволил не только сохранить большую часть материала при последующей стандартной обработке, но и еще более упростил подготовку препаратов.

Для повышения качества препаратов мы рекомендуем делать их отдельно для крупно- и мелкоклеточных форм. Для этого необходимо предварительное отмучивание небольшого объема пробы (1 мл) на часовом стекле в 3 мл воды и удаление жидкости и грубого осадка пипеткой через минуту. Троекратный повтор этой процедуры позволят почти полностью избавиться от лишнего содержимого и промыть материал от фиксатора. Действия необходимо контролировать под бинокулярной лупой. Препараты мелкоклеточных водорослей получают так же, но путем отбора пипеткой крупных скоплений мусора. Сконцентрированные таким образом клетки собирают пипеткой и переносят на заранее приготовленные поли-L-лизиновые стекла (Šťastný, 2010), проводят дегидратацию и сушку в критической точке (Gough et al., 1976). При работе с крупными клетками десмидиевых водорослей (более 50 мкм) мы рекомендуем после сушки проводить отбор необходимых объектов при помощи волосяной иглы и помещать их на двусторонний электропроводный скотч на металлический препаратоноситель. Напыление золота или платино-палладиевого сплава не сказывается на качестве препаратов.

Анисимова О.В. Мелкие представители рода *Cosmarium* (Conjugatophyceae, Desmidiaceae) из сфагновых болот Московской области // *Новости систематики низших растений*. 2013. Т. 47. С. 13-20.

Couté A., Iltis A. Étude en microscopie électronique à balayage de quelques Desmidiacées (Chlorophyta, Zygothryxaceae) des lacs Andins Boliviens // *Cryptogamie, Algologie*. 1988. V. 9, № 1. P. 13–26.

Couté A., Thérézien Y. Quelques Desmidiées (Algae, Zygothryxaceae) de Guyane française étudiées au M.E.B. // *Rev. Hydrobiol. trop.* 1986. V. 19, № 1. P. 31-44.

Gough S.B., Garvin T.W., Woelkerling W.J. On processing field and culture samples of desmids (Desmidiaceae, Chlorophyta) for scanning electron microscopy // *European J. Phycology*. 1976. V. 11, № 3. P. 245-250.

- Lyon T. Scanning electron microscopy: a new approach to the Desmidiaceae // J. Phycol. 1969. V. 5. P. 380-382.
- Marchant H. Processing small delicate biological specimens for scanning electron microscopy // J. Microscopy. 1973. V. 97. P. 369-371.
- Pickett-Heaps J. Stereo scanning electron microscopy of Desmids // J. Microscopy. 1973. V. 99. P. 109-116.
- Pickett-Heaps J. Scanning microscopy of some cultured Desmids // Trans. Am. Mic. Soc. 1974. V. 93. P. 1-23.
- Pickett-Heaps J.D. Preparation of algae for scanning electron microscopy. In: Gantt. E. ed. Handbook of Phycological methods. Developmental & Cytological Methods. Cambridge University Press 1980. 425 p.
- Šťastný J. Desmids (Conjugatophyceae, Viridiplantae) from the Czech Republic; new and rare taxa, distribution, ecology // Fottea. 2010. V.10, № 1. P. 1-74.
- Tavera R., Calderón E. Use of CTAB as a cost-effective solution to an old problem: the interference of the mucilage of desmids for scanning electron microscopy // Phycologia. 2013. V. 52, № 5. P. 422-425.
- Wei Y. Sem study of cell walls of 24 desmids (desmidiaceae, chlorophyta) from China // Chinese J. Oceanology and Limnology. 1991. V. 9, Issue 3. P. 263-276.

Т.А. Белевич¹, Л.В. Ильяш¹, И.А. Милютин²

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВИДОВОМ СОСТАВЕ ПИКОПЛАНКТОНА БЕЛОГО МОРЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского, г. Москва, Россия, 3438083@list.ru

T.A. Belevich¹, L.V. Ilyash¹, I.A. Milyutina²

THE FIRST DATA ON THE WHITE SEA PICOPLANKTON SPECIES COMPOSITION ACCORDING TO DNA ANALYSIS

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Belozerskii Research Institute for Physicochemical Biology, Moscow, Russia, 3438083@list.ru

К пикофитопланктону (ПФ) относят цианобактерии и эукариотные водоросли с размерами клеток менее 3 мкм. ПФ – это важнейший компонент сообщества фитопланктона. В периоды низкого обилия нано- (3–20 мкм) и микрофитопланктона (20–200 мкм) пикоформы могут давать основной вклад в суммарную биомассу и продукцию фитопланктона. В состав арктического ПФ входят цианобактерии и пикоэукариотные водоросли. Согласно литературным данным, пикоцианобактерии в полярных водах представлены почти исключительно родом *Synechococcus* (Vincent, 2000), тогда как видовое разнообразие пикоэукариот гораздо выше и исчисляется несколькими десятками видов, относящихся к разным отделам водорослей (Moon-van der Staay et al., 2001; Lovejoy et al., 2006, 2007). Определение пикопланктонных форм эукариотных водорослей до вида возможно только на основе молекулярно-генетических методов. Данные о видовом составе пикоэукариот в Белом море до настоящего времени отсутствовали.

В работе представлены первые результаты исследований, направленных на выявление видового состава пикопланктонных эукариот Белого моря с использованием молекулярно-генетических методов. Работу проводили в Ругозерской губе Кандалакшского залива в марте 2013 г. Пробы подледной воды были отобраны возле пирса Беломорской биологической станции МГУ. Пробу воды объемом 10 л предварительно фильтровывали через ядерные фильтры с диаметром пор 2 мкм (г. Дубна) для удаления крупного фитопланктона. Полученный фильтрат пропускали через юнит Sterivex (Millipore, Durgore) с диаметром пор 0.2 мкм, юнит заполняли лизирующим буфером, замораживали и хранили в жидком азоте до дальнейшего анализа. Для экстракции ДНК использовали набор «Nucleospin Plant» (Macherey-Nagel, Germany). Для первичной оценки биоразнообразия использованы частичные последовательности гена 18S rRNA, полученные при амплификации суммарной ДНК с праймерами, комплементарными высококонсервативным концевым участкам гена 18S rRNA. Клонирование амплификатов проводили с помощью TA вектора pTZ57R/T. RFLP анализ амплификатов, полученных с клонов, позволил отобрать

группы клонов с идентичными рестриктивными паттернами. Из каждой группы были отобраны клоны для секвенирования.

Всего было получено 70 нуклеотидных последовательностей генов 18S rRNA. BLAST анализ с базой данных генбанка (NCBI) показал, что 68 последовательностей соответствуют археям, а также разным группам гетеротрофных простейших. Так шесть филотипов имели сходство (от 93 до 99%) с нуклеотидными последовательностями некультивируемых морских страменопиллов, обнаруженных как в Антарктике, так и в прибрежных атлантических водах Канадской Арктики (AF290063, KC583005, FR874492, KC488521, KC488521, FJ431467).

Представленность в пробе гетеротрофных простейших может свидетельствовать о значимости микробной пищевой цепи в функционировании подледного планктона в ранневесенний период. Аналогичная картина выявлена в зимне-весенний период в норвежских фьордах (Sorensen et al., 2012).

Одна из последовательностей соответствовала автотрофной инфузории *Mesodinium rubrum*, размеры которой превышают размер пикоформ. Присутствие в библиотеках клонов пикофракции филотипов больших по размеру организмов характерно для метода фракционирования с использованием дробной фильтрации (Lovejoy et al. 2011).

Один филотип оказался полностью идентичен пикоэукариотной водоросли *Mantoniella squamata* JF698784. *Mantoniella squamata* (Manton et Parke) Desikachary (синоним *Micromonas squamata* Manton et Parke) – зеленая водоросль (Chlorophyta) семейства Mamiellophyceae. Это одноклеточная водоросль коккоидной или эллипсоидной формы с диаметром клетки до 2,5 мкм. *Mantoniella squamata* – широко распространенный вид, обитающий как в полярных, так и умеренных водах. Она была выявлена в летнем планктоне моря Бофорта, однако встречалась там эпизодически и на горизонтах не ниже трех метров (Balzano, 2012), тогда как в планктоне западной части Северного ледовитого океана *M. squamata* отмечалась довольно часто.

С учетом происходящих в арктическом регионе изменений абиотических условий, ведущих к усилению стратификации и снижению обеспеченности фитопланктона биогенными элементами, следует ожидать возрастания роли пикоформ в создании первичной продукции и увеличения доли мельчайших фотоавтотрофов в суммарной биомассе фитопланктона. Это обуславливает актуальность и необходимость дальнейших исследований планктонных пиководорослей Белого моря.

Balzano S., Marie D., Gourvil P., Vaultot D. Composition of the summer photosynthetic pico and nanoplankton communities in the Beaufort Sea assessed by T-RFLP and sequences of the 18S rRNA gene from flow cytometry sorted samples // The ISME J. 2012. № 6. P. 1480–1498.3

Lee S-R., Oak J.H., Chung J.K., Lee J.A. Effective molecular examination of eukaryotic plankton species diversity in environmental seawater using environmental PCR, PCR-RFLP, and sequencing// J. Appl. Phycology. 2010. 22. P. 699-707.

Lovejoy C., Massana R., Pedros-Alio C. Diversity and distribution of marine microbial eukaryotes in the Arctic Ocean and adjacent seas // Appl. and Environmental Microbiology. 2006. 72: P. 3085–95.

Lovejoy, C., Vincent W.F., Bonilla S. et al. Distribution, phylogeny, and growth of cold-adapted picoprasinophytes in arctic seas // J. of Phycology. 2007. V. 43, № 1. P. 78–89.

Lovejoy C., Galand P., Kirchman D. Picoplankton diversity in the Arctic Ocean and surrounding seas // Mar Biodivers. 2011. 41(1). P. 5–12.

Moon-van der Staay S.Y., De Wachter R., Vaultot D. Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected eukaryotic diversity // Nature. 2001. V. 409. P. 607–610.

Vincent W.F. Cyanobacterial dominance in the polar regions // The ecology of cyanobacteria. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2000. P. 321–340.

Sorensen N., Daugbjerg N., Gabrielsen T. M. Molecular diversity and temporal variation of picoeukaryotes in two Arctic fjords, Svalbard // Polar Biol. 2012. 35. P. 519–533.

О.Н. Болдина

УЛЬТРАСТРУКТУРА КЛЕТОК РАЗЛИЧНЫХ ШТАММОВ *CHLAMYDOMONAS NOCTIGAMA* KORSCH.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт Петербург, Россия, olgab1999@mail.ru

O.N. Boldina

CELLULAR ULTRASTRUCTURE OF DIFFERENT STRAINS OF *CHLAMYDOMONAS NOCTIGAMA* KORSCH.

Komarov Botanical Institute RAS, St Petersburg, Russia, olgab1999@mail.ru

Системное изучение видов Chlorophyta имеет большое значение для выявления признаков, необходимых для построения современной классификации водорослей. Среди хламидомонад – представителей прежнего рода *Chlamydomonas* особое место занимает *C. noctigama* Korschikov, поскольку этот вид широко распространен в природе и используется как модельный объект для решения ряда биологических задач. В настоящее время в альгологических коллекциях поддерживается большое число штаммов, отнесенных к *C. noctigama* на основе молекулярно-биологических исследований, включая описанные ранее как штаммы других видов (ACKU 759-06 *C. dorsoventralis* Pascher, ACKU 774-06 *C. pinicola* Ettl), в том числе и типовые (SAG 22.72 *C. hindakii* Ettl, SAG 33.72 *C. monoica* Strehlow и SAG 6.73 *C. geitleri* Ettl). У трех штаммов этого вида (SAG 4.88, 22.92 и 59.72) выявлены небольшие различия в нуклеотидных последовательностях рибосомных генов. Целью настоящей работы является проведение сравнительного изучения ультраструктуры клеток 15 штаммов *Chlamydomonas noctigama* из различных мест обитания, включая изолят из Ленинградской области. Для работы использовали 5–7-дневные культуры водорослей, выращенные на твердой минеральной среде Kuhl на стационарной осветительной установке.

Исследование клеток методом просвечивающей электронной микроскопии продемонстрировало почти полную идентичность в строении практически всех компонентов клеток. У вегетативных клеток всех изученных объектов следует отметить нижеперечисленные особенности. Клеточная оболочка относительно тонкая, 0.3–0.5 мкм, реже до 0.8 мкм. В ней отчетливо различаются только два основных слоя, а наружный, имеющий вид коротких тонких фибрилл, едва заметен, а иногда вообще не выявляется. Расположенный под ним слой (толщиной около 0.03 мкм) – триламеллярный. Он состоит из двух электронноплотных ламелл и разделяющей их светлой, но в его составе на большинстве срезов вместо ламелл проявляются повторяющиеся субъединицы или соответствующая им параллельная исчерченность. Внутренний слой образован плотно упакованными фибриллами, расположенными более или менее параллельно клеточной поверхности. Вблизи плазмалеммы их упаковка сменяется на значительно более рыхлую, но с более высокой электронной плотностью. В этой части внутреннего слоя присутствуют крупные гомогенные электронноплотные структуры.

Плазмалемма имеет характерные волнистые очертания, образуя инвагинации. Хлоропласт окружен плавной оболочкой, местами контактирующей с плазмалеммой в районе ее инвагинаций. Он содержит длинные прямые, плотно прилегающие друг к другу тилакоиды, собранные обычно в пачки по три; значительно реже они образуют более крупные комплексы, включающие до 14 тилакоидов. Тилакоиды обычно ориентированы параллельно поверхности клетки. Иногда тилакоиды слегка изогнутые. Строма хлоропласта содержит многочисленные рибосомы, многочисленные (15–40 на срез) крахмальные зерна преимущественно удлиненной формы и единичные пластоглобулы. Стигма двуслойная. Диаметр глобул 0.07–0.14 мкм; их плотность часто неоднородная. Пиреноид состоит из плотной гомогенной стромы, окружающей ее крахмальной обкладки (из 6–15 зерен или мелких пластин) и проникающих в строму пачек из трех тилакоидов. Тилакоиды входят в строму пиреноида практически без изменения их внутритилакоидного пространства, строения и направления, располагаясь более или менее параллельно друг другу. Тем не менее, на ряде срезов можно

обнаружить разнонаправленные пачки тилакоидов. На некоторых срезах в центральной части стромы выявляются лишь короткие профили одиночных тилакоидов. Во всех случаях тилакоиды остаются прямыми. Очень редко обнаруживаются отдельные пиреноиды, в которых общие контактирующие мембраны тилакоидов в пиреноидах становятся извилистым и местами даже могут сливаться с образованием крайне плотного конгломерата.

Ядро сложное хромоцентрическое, на срезах оно часто имеет вытянутую вдоль тела клетки форму. Наряду с конденсированным хроматином в кариоплазме обнаруживаются плотные гомогенные сферические тельца. Ядрышко занимает центральное положение и чаще всего характеризуется мозаичным расположением образующих его компонентов. Поры в ядерной оболочке довольно многочисленны. Митохондрии (5–10 на срез) имеют пластинчатые, как правило, неупорядоченно ориентированные кристы и располагаются в основном в центральной части клетки. Сечения их округлые и удлинено-овальные. Аппарат Гольджи выявляется, как правило, вблизи ядра (обычно две диктиосомы на срез). Диктиосомы образованы 6–9 цистернами и окружены многочисленными пузырьками. На снимках отчетливо заметна связь аппарата Гольджи с наружной мембраной ядерной оболочки. В цитоплазме встречаются вакуоли следующих типов: 1) сократительные, 2) с мембранными включениями, 3) с гомогенным светлым содержимым, 4) с электронноплотными включениями.

Исследование показало, что по отношению к другим видам хламидомонад клетки *C. noctigama* отличает уникальный комплекс ультраструктурных признаков хлоропласта. Характерными чертами этого комплекса являются прямые пачки из трех тилакоидов в хлоропластах, ориентированные большей частью вдоль длинной оси клетки; вхождение тилакоидов в пиреноид практически в неизменном виде. Особенности строения тилакоидной системы в пиреноиде, наряду с сильнофрагментированной обкладкой, определяют его специфический уникальный тип V (Болдина, 2011). Стигма часто образована неоднородными по плотности осмиофильными глобулами. Среди других маркерных особенностей изученного вида необходимо отметить плотные сферические включения в кариоплазме ядер. Сравнение ультраструктуры *C. noctigama* с другими видами клады в группе *Moewisinia* (*C. eugametos* Moewus, *C. pitschmannii* Ettl) демонстрирует общность в структуре оболочки и ее электронноплотных включений; в строении и расположении митохондрий; в составе вакуолей и ряд других. Более того, этот анализ дает ключ к реконструкции происхождения пиреноидов с уплощенными тилакоидами. Поскольку изученные штаммы *C. noctigama* образуют в кладе *Moewisinia* отдельную субкладу, то вышеуказанные уникальные признаки следует применять для ее характеристики. При этом ранг выявленных ультраструктурных признаков (видовой или родовой) требует дальнейшего уточнения.

С.И. Генкал

**МОРФОЛОГИЯ, ТАКСОНОМИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ *CYCLOTELLA MEDUANAE*
GERMAIN (BACILLARIOPHYTA)**

Институт биологии внутренних вод им. И.Д.Папанина РАН, п. Борок, Россия,
genkal@ibiw.varoslavl.ru

S.I. Genkal

**MORPHOLOGY, TAXONOMY, ECOLOGY AND DISTRIBUTION OF *CYCLOTELLA MEDUANAE*
GERMAIN (BACILLARIOPHYTA)**

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia
genkal@ibiw.varoslavl.ru

Cyclotella meduanae Germain была описана из Франции (Germain, 1981). Вид относится к мелкоразмерным формам (диаметр створки варьирует от 5 до 7 мкм) и

имеет сходство в рядом других представителей рода *Cyclotella*: *C. atomus* Hustedt, *C. cryptica* Reimann, Levin et Guillard, *C. katiana* Sala et Ramírez, *C. meneghiniana* Kützing. По литературным данным *C. meduanae* имеет широкое распространение и отмечена в пресноводных и солоноватоводных водоемах Европы, Азии, Северной Америки. Материалом послужили пробы фитопланктона, собранные в волжских (Россия) и Киевском (Украина) водохранилищах, реках Ока (приток Волги), Обь и Дунай (Венгрия), в водоеме-охладителе Хмельницкой атомной электростанции (Украина), озере Ханка (Россия).

Наши исследования показали, что *C. meduanae* проявляет более широкую изменчивость морфологических признаков: диаметр створки изменяется от 4.8 до 12.8 мкм, число штрихов в 10 мкм – от 7 до 15, число рядов ареол в штрихе – от 2 до 14, число ареол в 10 мкм штриха – от 40 до 90, форма и размер ареол варьирует, краевые выросты располагаются на каждом 2–3-ем интерштрихе, рельеф центрального поля - от почти плоского до слегка тангентально-волнистого, небольшие гранулы на створке присутствуют или отсутствуют, ориентация щели двугубого выроста меняется от радиального до тангентального. Отмечено совпадение морфологических признаков *C. meduanae* и недавно описанной *Cyclotella katiana* (Sala, Ramirez-R, 2008), что говорит о конспецифичности этих видов.

Мы зафиксировали *C. meduanae* в водоемах разного типа (озера, водохранилища, реки) на Украине, Европейской части России, Западной Сибири, Дальнем Востоке, Северной Америке. В основном, это пресноводные, мезотрофные или эвтрофные водоемы, однако этот вид обнаружен в придунайском районе Черного моря при солености от 0.5 до 15.6 ‰. Наши и литературные данные показали, что *C. meduanae* проявляет более значительную морфологическую изменчивость, имеет более широкий ареал и экологическую валентность, чем приводится в описании.

Germain H. Flore des Diatomees. Diatomophycees des eaux douces et saumâtres du Massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe occidentale. Paris, Boubee. 1981. 444 p.

Sala S., Ramirez-R J.J. *Cyclotella katiana* sp. nov. from La Reina Swamp, Parque Nacional Natural Los Katios, Colombia.// Diatom Res. 2008. V. 23. P. 147–157.

С.И. Генкал

К ВОПРОСУ О МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ ШИРОКО РАСПРОСТРАНЕННЫХ И РЕДКИХ ВИДОВ РОДА *NAVICULA* (BACILLARIOPHYTA)

Институт биологии внутренних вод им. И.Д.Папанина РАН, п. Борок, Россия,
genkal@ibiw.varoslavl.ru

S.I. Genkal

ON MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF SOME WIDESPREAD AND RARE SPECIES OF THE GENUS *NAVICULA* (BACILLARIOPHYTA)

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia
genkal@ibiw.varoslavl.ru

Вопрос о морфологической изменчивости диатомовых водорослей важен с точки зрения ее границ, масштабов, направленности и очень важен для систематики этой группы, а в практическом аспекте – для точной идентификации видов. Однако изучению изменчивости отдельных видов пеннатных диатомовых водорослей уделяется недостаточно внимания, поэтому данная работа восполняет в определенной степени этот пробел. Материалом работы послужили пробы фитопланктона и фитобентоса из водоемов разного типа и географического положения (Европейская часть России, Западная и Восточная Сибирь, Камчатка, Монголия).

В качестве объекта были выбраны несколько широко распространенных, а также редких для России видов (*Navicula cryptocephala* Kützing, *N. exilis* Kützing, *N. hanseatica* Lange-Bertalot, *N. margalithii* Lange-Bertalot, *N. menisculus* Schumann, *N. meniscus* Schumann, *N. radiosa* Kützing, *N. reinhardtii* Grunow, *N. rhyngocephala* Kützing). Для большинства исследованных видов указанные в определителях диапозоны из-

менчивости признаков практически не меняются. Вместе с тем, для *N. exilis*, *N. rhynchocephala* наблюдается пересмотр этих диапазонов по некоторым признакам или в сторону увеличения, или уменьшения, что связано, вероятно, с изменением взглядов исследователей на объемы этих видов. Изучение популяций перечисленных выше видов в исследованных водоемах разного типа и географического положения показывает значительную вариабельность диапазонов признаков и даже гиатус между некоторыми признаками среди популяций отдельных видов: *N. radiosa* (ширина створки, число штрихов и ареол в 10 мкм), *N. reinhardtii* (ширина створки, число штрихов и ареол в 10 мкм), *N. cryptocephala* (число штрихов и ареол в 10 мкм), *N. exilis* (ширина створки, число штрихов в 10 мкм), *N. rhynchocephala* (длина и ширина створки, число штрихов и ареол в 10 мкм). Выше сказанное свидетельствует о значительной межпопуляционной изменчивости, что имеет место и среди других представителей пеннатных диатомовых водорослей, например рода *Cymbella* (Krammer, 2002). Сравнение обобщенных литературных данных и результатов наших исследований показывает, что несмотря на обширные данные по разным регионам мира, заложенные в диагнозы систематических сводок, все изученные виды демонстрируют отличия от описаний по отдельным или сразу по ряду признаков. Это следует учитывать при проведении систематических, таксономических, флористических и гидробиологических исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-04-00078).

Krammer K. Diatoms of Europe. V. 3. *Cymbella*. 2002. 584 p.

М.А. Гололобова

ВОДОРΟΣЛИ И ИХ ПОЛОЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Московский государственный университет им.М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,
gololobovama@mail.ru

M.A. Gololobova

ALGAE AND THEIR POSITION ON THE TREE OF LIFE

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, gololobovama@mail.ru

Водоросли – группа фотоавтотрофных организмов¹, большинство которых обитает в воде, имеет одноклеточные гаметы и вегетативное тело которых представлено талломом. Все водоросли, за исключением синезеленых (цианобактерий), являются эукариотами и представляют собой сборную группу, включающую организмы разного происхождения.

Единственными прокариотными организмами, которые обладают оксигенным фотосинтезом (в связи с чем их традиционно изучают альгологи), являются цианобактерии (синезеленые водоросли). Общеизвестно отнесение цианобактерий к группе Eubacteria (Tree..., 2006). Важной ступенью в эволюции было приобретение некоторыми эукариотными клетками хлоропласта, что привело к возникновению разных групп эукариотных водорослей. Общеизвестной в настоящее время является гипотеза о возникновении хлоропласта в результате «захвата» клеткой-хозяином фотосинтезирующей цианобактерии (т.е. путем эндосимбиоза). Таким образом возник первичный хлоропласт, покрытый двумя мембранами. Такой хлоропласт имеют представители четырех отделов водорослей: Glaucophyta, Rhodophyta, Chlorophyta и Charophyta. Остальные водоросли являются вторичнопластидными, т.к. приобрели хлоропласт путем «захвата» клеток зеленой или красной водоросли. В первом случае возникли отделы Chlorarachniophyta и Euglenophyta; во втором – остальные отделы (Ochromyxa, Dinophyta, Cryptophyta и Haptophyta) (Keeling, 2010).

¹ Среди водорослей также есть гетеротрофные представители.

В системе органического мира (Whittaker, 1969), которая на протяжении многих лет была общепринятой, отделы водорослей были распределены среди трех царств: Monera (царство включало прокариотные организмы), Protista (эукариотные, преимущественно одноклеточные организмы) и Plantae (эукариотные многоклеточные фотоавтотрофы). Однако за последние годы система и классификация живых организмов (прежде всего эукариот) претерпели значительные изменения, что связано с новыми подходами к их изучению. Достижения последних лет в области молекулярной биологии, биохимии, цитологии, генетики и т.д. значительно расширили знания об организации живых существ, и, как следствие, взгляды на происхождение и родственные связи между организмами значительно изменились. Наибольшие изменения коснулись филогенетических связей и положения в системе протист и водорослей. С.Л. Балдауф с соавт. (Baldauf et al., 2000) одними из первых опубликовали работу, в которой были пересмотрены филогенетические связи эукариот. В 2005 г. выходят сразу две значимые работы, в которых было предложено разделить эукариот на пять (Keeling et al., 2005) или шесть супергрупп (Adl et al., 2005). В первой системе (Keeling et al., 2005) эукариотные водоросли распределены среди четырех супергрупп: 1) Plantae (группа включает глаукофитовые, красные и зеленые водоросли (включая харовые), а также высшие растения); 2) Chromalveolates (группа включает динофитовые, охрофитовые, криптофитовые и гаптофитовые водоросли); 3) Excavates (группа включает эвгленовые водоросли) и 4) Rhizaria (группа включает хлорарахниофитовые водоросли). Во второй системе (Adl et al., 2005) положение водорослей и их распределение среди супергрупп такое же (они входят в четыре супергруппы: Archaeplastida (= Plantae), Chromalveolata, Excavata и Rhizaria). В 2007 г. Ф. Бурки с соавт. (Burki et al., 2007) показали близкое родство супергруппы Rhizaria и двух основных клад супергруппы Chromalveolates: Stramenopiles и Alveolates, на основании чего предложили объединить их в общую группу SAR (Stramenopiles + Alveolates + Rhizaria). Подробные описания супергрупп и макротаксонов водорослей, к ним относящихся, можно найти в литературе (Adl et al., 2005, 2012; Baldauf, 2008).

В целом, положение и родственные связи всех групп водорослей в настоящее время более или менее определены, за исключением двух отделов: криптофит и гаптофит. Положение в макросистеме криптоноад и гаптофит и их отнесение к Chromalveolates ставилось под сомнение давно (Cavalier-Smith, 1999). В настоящее время существуют разные взгляды на положение в макросистеме этих двух групп водорослей. Сначала была показана монофилия этих двух отделов (Hackett et al., 2007), затем они были отнесены в отдельную группу Hacrobia клады Chromalveolates (Okamoto et al., 2009, Keeling, 2009). Позже в работе (Burki et al., 2012) показано, что гаптофитовые водоросли являются сестринской группой супергруппе SAR, а криптоноады – не родственны гаптофитам (последние группируются вместе с супергруппой Plantae). В то же время, в работе (Adl et al., 2012) криптофиты и гаптофиты отнесены в группу Insertae sedis именно с учетом того, что данные относительно их родства и положения в системе весьма противоречивые.

Adl S.M., Simpson A.G.B., Farmer M.A. et al. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists // *J. Eukaryotic Microbiology*. 2005. V. 52(5). P. 399–451.

Adl S.M., Simpson A.G.B., Lane C.E. et al. The revised classification of eukaryotes // *J. Eukaryotic Microbiology*. 2012. V. 59(5). P. 429–493.

Baldauf S.L. An overview of the phylogeny and diversity of eukaryotes // *J. Systematics and Evolution*. 2008. V. 46 (3). P. 263–273.

Baldauf S.L., Roger A.J., Wenk-Siefert I., Doolittle W.F. A kingdom-level phylogeny of eukaryotes based on combined protein data // *Science*. 2000. V. 290. P. 972–977.

Burki F., Okamoto N., Pombert J-F., Keeling P.J. The evolutionary history of haptophytes and cryptophytes: phylogenomic evidence for separate origins // *Philosophical Transactions of the Royal Society, B*. 2012. V. 279. P. 2246–2254.

Burki F., Shalchian-Tabrizi K., Minge M. et al. Phylogenomics reshuffles the eukaryotic supergroups // *PLoS ONE*. 2007. 2(8): e790.

Cavalier-Smith T. Principles of protein and lipid targeting in secondary symbiogenesis: euglenoid, dinoflagellate, and sporozoan plastid origins and the eukaryote family tree // *J. Eukaryotic Microbiology*. 1999. V. 46. P. 347–366.

Hackett J.D., Su Yoon H., Li S., et al. Phylogenomic analysis supports the monophyly of Cryptophytes and Haptophytes and the association of Rhizaria with Chromalveolates // *Molecular Biology and Evolution*. 2007. V. 24(8). P. 1702–1713.

Keeling P.J. Hacrobia Okamoto, Keeling 2009. Version 28 October 2009 (under construction). <http://tolweb.org/Hacrobia/124797/2009.10.28> in The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org/>

Keeling P.J. The endosymbiotic origin, diversification and fate of plastids // *Philosophical Transactions of the Royal Society, B*. 2010. V. 365. P. 729–748.

Keeling P.J., Burger G., Durnford D.G. et al. The tree of eukaryotes // *Trends in Ecology and Evolution*. 2005. V. 20, № 12. P. 670–676.

Okamoto N., Chantangsi C., Horák A., et al. Molecular phylogeny and description of the novel Katablepharid *Roombia truncata* gen. et sp. nov., and establishment of the Hacrobia taxon nov. // *PLoS ONE*. 2009. 4(9): e7080.

Tree of Life Web Project. Cyanobacteria. Version 10 March 2006 (temporary). <http://tolweb.org/Cyanobacteria/2290/2006.03.10> in The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org/>

Whittaker R.H. New concepts of kingdoms of organisms // *Science*. 1969. V. 163. P. 150–160.

А.А. Гончаров, В.В. Шохрина
ЗЕЛЕННЫЕ СТРЕПТОФИТНЫЕ ВОДОРОСЛИ: ПРОБЛЕМЫ ФИЛОГЕНИИ И СИСТЕМАТИКИ
Биолого-почвенный институт ДВО РАН, г. Владивосток, gontcharov@biosoil.ru
A.A. Gontcharov, V.V. Shohrina
GREEN STREPTOPHYTE ALGAE: PROBLEMS OF PHYLOGENY AND SYSTEMATICS
Institute of Biology and Soil Science FEB RAS, Vladivostok, gontcharov@biosoil.ru

Автотрофные организмы, использующие энергию Солнца для синтеза органических веществ, сыграли важнейшую роль в эволюции жизни на Земле. Особая роль в этом процессе принадлежала зеленым растениям, характеризующимся наличием двух мембран, собранных в стопки тилакоидов, и хлорофиллов *a* и *b*, приобретенных в результате первичного эндосимбиоза 1800 млн лет назад. В настоящее время все зеленые растения относят к царству Viridiplantae. Эта группа четко обособлена на эволюционном древе и характеризуется высоким разнообразием морфологических признаков, особенностей структурной организации клетки, жизненных циклов, способов размножения и биохимии.

В составе Viridiplantae выделяют два отдела: Chlorophyta (большинство зеленых водорослей, до 10000 видов в 12 классах) и Streptophyta (6 преимущественно бедных видами классов водорослей и более 500000 видов эмбриофитов), дивергировавших 725–1200 млн лет назад. Водоросли обеих групп обычны в почвах, но именно стрептофитные водоросли явились предками первых растений, вышедших на сушу примерно 500–450 млн лет назад, обеспечивших существенное повышение концентрации кислорода в воздухе и формирование современных наземных экосистем. На родство стрептофитных водорослей и высших растений указывают общие для них особенности ультраструктуры жгутикового аппарата, биохимии и физиологии, а также организации геномов (Baldauf & Palmer, 1990; Manhart & Palmer, 1990; Sanders et al., 2003; Starke & Gogarten, 1993).

Примечательно, что разнообразие современных стрептофитных водорослей существенно ниже, чем представителей Chlorophyta, и они насчитывают лишь около 13 семейств с 120–130 родами против 100 семейств и 700 родов зеленых водорослей. В составе Streptophyta выделяют шесть классов водорослей: одноклеточные жгутиковые Mesostigmatophyceae, сарциноидные Chlorokybophyceae, нитчатые Klebsormidiophyceae, Zygnemorphyceae, характеризующиеся половым размножением в форме конъюгации и полным отсутствием жгутиков и жгутикового аппарата, и морфологически наиболее сложные Charophyceae и Coleochaetophyceae, характеризующиеся истинной многоклеточностью и наличием плазмодесм, паренхимного или

ветвящегося нитчатого таллома с апикальным ростом и оогамным половым процессом.

Родственные отношения между основными группами стрептофитных водорослей активно изучались последние 10–15 лет. Базальное положение Mesostigmatophyceae, Chlorokybophyceae и Klebsormidiophyceae на древе Streptophyta можно считать твердо установленным (Lemieux et al., 2007; Rodriguez-Ezpeleta et al., 2007; Timme et al., 2012), хотя еще совсем недавно принадлежность *Mesostigma* к стрептофитным водорослям подвергалось сомнению (Lemieux et al., 2000; Turmel et al., 2002a, b). *Mesostigma* и *Chlorokybus* формируют кладу, в состав которой, возможно, входит и род *Spirotaenia*, традиционно считавшийся членом Zygnemorphyceae (Gontcharov & Melkonian, 2004; Gontcharov, 2008). Самых конъюгат рассматривали как четко обособленную группу, предваряющую Charophyceae и Coleochaetophyceae. Именно харовые водоросли признавались многими исследователями как наиболее вероятные предки наземных растений. Эта гипотеза выглядела убедительно, прежде всего, с точки зрения морфологии, и была поддержана ранними филогенетическими анализами (Karol et al., 2001; Qiu et al., 2007). По мере расширения числа анализируемых признаков в мультигенных анализах и анализах полных хлоропластных геномов, на роль сестринской группы эмбриофитов стали претендовать конъюгаты и/или колеохетовые (Turmel et al., 2007; Finet et al., 2010; Wodniok et al., 2011; Timme et al., 2012). Таким образом, вопрос о сестринской группе наземных растений остается открытым. Даже в случае его успешного разрешения без ответа остается ряд фундаментальных вопросов экофизиологической адаптации стрептофитов к обитанию на суше.

Учитывая относительно невысокое родовое разнообразие большинства классов стрептофитных водорослей, проблемы их систематики, в основном, сводятся к проблеме концепции вида (McCourt et al., 1999; Meiers et al., 1999; Mannschreck et al., 2006; Novis, 2006; Kato et al., 2008, 2010; Mikhailiuk et al., 2008; Rindi et al., 2008, 2011; Sluiman et al., 2008; Sakayama et al., 2009; Casanova, 2013; Skalouda, Rindi, 2013) и полифилии внутриродовых таксонов, основанных на фенотипических признаках. При этом не удивительно, что систематика богатого видами (около 4000) и родами (70–80) классе Zygnemorphyceae находится в кризисе (Gontcharov, 2008). Монофилия класса (положение на древе рода *Spirotaenia*), структура базального порядка Zygnematales и эволюционно продвинутого семейства Desmidiaceae были подвергнуты сомнению (Chen et al., 2012; Chen & Schagerl, 2012; Gontcharov & Melkonian, 2004, 2005, 2010, 2011; Guiry, 2013; Hall et al., 2008; Kim et al., 2012; Škaloud et al., 2011; 2012). Ситуация существенно осложнена тем, что многие традиционные рода конъюгат, основанные на морфологических признаках, являются полифилетическими. Так, в сем. Desmidiaceae, объединяющем около 2500 видов из 30–33 родов, установлены 23 клады и три не поддержанных бутстрепом кластера, большинство которых включает представителей двух и более родов. При этом трудно назвать хотя бы один традиционный род десмидиевых, монофилия которого была бы подтверждена молекулярно-генетическими данными. Синапоморфные признаки, характеризующие новые клады, до сих пор неизвестны, как и родственные отношения между этими кладами. Сходная картина наблюдается и в основании древа конъюгат – пор. Zygnematales. Очевидно, что концепция рода в классе требует пересмотра, а родовая структура класса – ревизии, заключающейся в уточнении диагнозов большинства существующих родов и описании новых. Однако отсутствие информации о синапоморфных или хотя бы диагностических признаках, характеризующих эти таксоны, затрудняет решение таксономических проблем конъюгат.

М.С. Куликовский¹, С.А. Андреева², Е.С. Гусев¹, Н.В. Анненкова³
**МОРФОЛОГИЯ И ФИЛОГЕНИЯ РОДА *GEISSLERIA* LANGE-BERTALOT & METZELTIN: К ВОПРОСУ
О РОЛИ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В СИСТЕМАТИКЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ**

¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия,
max-kulikovsky@yandex.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

³Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

M.S. Kulikovskiy¹, S.A. Andreeva², E.S. Gusev¹, N.V. Annenkova³
**MORPHOLOGY AND PHYLOGENY OF THE GENUS *GEISSLERIA* LANGE-BERTALOT & METZELTIN:
ABOUT MORPHOLOGICAL CRITERIONS IN DIATOM TAXONOMY**

¹I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia,
algogus@yandex.ru, max-kulikovsky@yandex.ru

²Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, tiapa93@mail.ru

³Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

Род *Geissleria* был описан Metzeltin, Witkowski, Lange-Bertalot в 1996 г. на основе выделения ряда его представителей из обширного на то время рода *Navicula* Bory. Особенностью рода является наличие специальных удлинённых ареол на концах створки, что отличает его от других представителей с навикулоидной симметрией. В работе дается детальный анализ морфологии створок представителей этого рода. Анализируется строение порового аппарата, шва, симметрия створок. Показано, что по морфологии хлоропластов этот род наиболее близок цимбеллоидным диатомовым, а именно роду *Placoneis* Mereschowsky. Один большой седловидный хлоропласт заполняет все пространство клетки. Изучение филогенетического положения представителей этого рода с использованием генов 18S и *rbcL* также показало близость к группе гомфоцимбеллоидных диатомовых водорослей. Клада с представителями рода образует общую ветвь с родом *Placoneis*. Полученные данные позволяют рассмотреть морфологические особенности рода *Geissleria*, описать его филогенетическое положение и рассмотреть основные морфологические признаки, их значение для систематики навикулоидных и цимбеллоидных диатомовых водорослей. Два новых вида из озера Байкал описаны на основе морфологических и молекулярно-генетических данных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-04-01406) и Фонда Президента РФ (МК-1128.2014.4).

**Е.В. Минчева¹, А.Д. Темралеева², Т.Е. Перетолчина¹, Л.С. Кравцова¹, Л.А. Ижболдина³,
Ю.С. Букин¹, Д.Ю. Щербаков^{1,3}**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ФИЛОГЕНИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОЗЕРА
БАЙКАЛ НА ОСНОВЕ ITS**

¹Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, elenakuznetsova01@gmail.com

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино, Россия,

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

**E.V. Mincheva¹, A.D. Temraleeva², T.E. Peretolchina¹, L.S. Kravtsova¹, L.A. Izboldina³,
Yu.S. Bukin¹, D.Yu. Sherbakov^{1,3}**

**THE ITS-BASED RECONSTRUCTION OF PHYLOGENY OF SOME SPECIES OF AQUATIC
VEGETATION FROM LAKE BAIKAL**

¹Limnological institute SB RAS, Irkutsk, Russia, elenakuznetsova01@gmail.com

²Institute of physico-chemical and biological problems of soil science of RAS, Pushchino, Russia

³Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Уникальной особенностью озера Байкал является высокое разнообразие и эндемизм живущих в нем растений и животных. Согласно последним данным, в Байкале обитает 137 видов и разновидностей водорослей (Ижболдина, 2007) и 86 видов высших водных растений (Азовский, Чепинога, 2007). Данные о происхождении, эволюции и взаимоотношениях с позиций молекулярной филогенетики для высших и низших водных растений Байкала практически отсутствуют, поэтому систематика и филогения некоторых таксонов не ясна. В качестве примера можно привести пред-

ставителей эндемичного рода *Draparnaldioides*, который насчитывает девять видов и разновидностей. Виды этого рода различаются по физиологическим и морфологическим характеристикам, но последние часто бывают настолько схожи, что таксономическое определение становится сложным даже для опытного альголога. Решению этой проблемы могут способствовать молекулярные методы, которые в сочетании с морфологией представляют собой эффективный инструмент для видовой идентификации и изучения эволюционной истории зеленых водорослей на уровне различных таксонов.

Образцы талломов зеленых водорослей *Draparnaldioides baicalensis* и *D. simplex* собирались в 2010–2013 гг. с помощью водолазного погружения. ДНК экстрагировали по модифицированной методике с использованием гуанидин изотиоцианата и фенола. В качестве молекулярно-генетических маркеров использовали внутренние транскрибируемые спейсеры (ITS1 и ITS2) ядерного рибосомального оперона. ITS1 расположен между геном малой ядерной рибосомальной субъединицы (18S) и геном 5,8S рДНК, ITS2 – между геном 5,8S рДНК и геном большой ядерной рибосомальной субъединицы (26S) (длина около 500 п.н.). Праймеры и условия ПЦР для амплификации фрагментов ITS 1–2 использовали из работы (White et al., 1990). ПЦР-продукты анализировали электрофоретически в 1% агарозном геле. Секвенирование нуклеотидных последовательностей проводили на базе ЗАО «Синтол» (Москва, Россия). Последовательности редактировали при помощи программы BioEdit ver. 5.0.9. Для филогенетического анализа использовали модель молекулярной эволюции GTR, выбранную с помощью программы jModelTest. Филогенетические деревья на основе комбинированных последовательностей ITS1+ITS2 строили методом максимального правдоподобия, реализованным в программе rhyML. Устойчивость реконструкции оценивали с помощью бутстреп-анализа (1000 повторностей).

Результаты молекулярно-генетического анализа последовательностей 18S рДНК, полученные нами ранее, позволили сделать предположение об относительной молодости рода *Draparnaldioides* и недавнем отделении от общего предка *Draparnaldia* и *Chaetophora* (Минчева и др., 2013). Наличие большого числа эндемичных видов и разновидностей в составе *Draparnaldioides* свидетельствует о быстрой морфологической эволюции этого рода в пределах экосистемы озера Байкал. Изначально представители рода *Draparnaldioides* – *D. baicalensis* и *D. simplex* – были выделены в отдельные виды исключительно на основе морфологических различий (количество слизи, строение таллома, форма боковых веточек и наличие/отсутствие в них рахиса). Позднее было показано, что виды различаются также сроками вегетации. Так *D. simplex* вегетирует в апреле – первой половине июля, а *D. baicalensis* – во второй половине июня – сентябре. Молодые *D. baicalensis* особенно сложно идентифицировать. Тем не менее, на сегодняшний день у исследователей остаются сомнения: идет ли речь об отдельных видах или морфотипах одного вида? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо использовать быстро эволюционирующие и полиморфные маркеры ядерного генома, которые оценивают уровни внутри- и межвидового полиморфизма. По результатам молекулярно-генетического анализа последовательностей ITS1-2 установлено, что *D. baicalensis* и *D. simplex* являются сестринскими видами и образуют на филогенетическом дереве монофилетичную кладу. Генетические дистанции между этими видами составляют 9%, что вполне сопоставимо с внутривидовыми различиями для других родов зеленых водорослей (например, для разных видов *Chara* процент замен равен 5).

Таким образом, данные молекулярной систематики поддерживают предложенное Мейером и Рейнгардтом выделение *D. baicalensis* и *D. simplex* в отдельные самостоятельные виды (Мейер, Рейнгардт, 1925).

Поддержано грантом РФФИ № 14-04-31250 мол_а.

Азовский М.Г., Чепинога В.В. Флора высших растений озера Байкал. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007, 157 с.

Ижболдина Л.А. Атлас и определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их биологии. Новосибирск: Наука-центр, 2007. 248 с.

Мейер К.И., Рейнгардт Л.В. К флоре водорослей о. Байкала и Забайкалья // Бюлл. Моск. общества испытателей природы. 1925. № 336. С. 201–243.

Минчева Е.В., Перетолчина Т.Е., Ижболдина Л.А. и др. Эволюционные связи эндемичной зеленой водоросли оз. Байкал *Draparnaldioides simplex* с небайкальскими таксонами семейства *Chaetophoraceae* (*Chlorophyta*) // Молекулярная биология. 2013. Т 47, № 1. С. 181–184.

White T.J., Bruns T., Lee S. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications. N. Y.: Acad. Press, 1990, P. 315–322.

Е.Н. Патова¹, А.Д. Патова¹, Д.М. Шадрин¹, Я.И. Пылина¹, И.Н. Егорова²
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИЙ
***NOSTOC COMMUNE* VAUCH. EX BORN. & FLAN. ГОРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ МЕСТООБИТАНИЙ**

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, patova@ib.komisc.ru

² Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия, egorova@sifibr.irk.ru

E.N. Patova¹, A.D. Patova¹, D.M. Schadrin¹, Y.I. Pylina¹, I.N. Egorova²
MORPHOLOGICAL AND MOLECULAR CHARACTERISTICS OF *NOSTOC COMMUNE* VAUCH. EX
BORN. & FLAN. POPULATIONS IN MOUNTAIN AND ARCTIC HABITATS

¹Institute of Biology, Komi Science Centre RAS, Syktyvkar, Russia, patova@ib.komisc.ru

² Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia, egorova@sifibr.irk.ru

Представители гетероцитных цианопрокариот рода *Nostoc* имеют сходные трудно различимые морфологические признаки. Собранный в природе материал и культуральные штаммы ностоков можно определить до вида только по морфологическим характеристикам зрелых колоний, что не всегда представляется возможным. В связи с этим точная идентификация в природном материале и в культурах вызывает трудности и требует дальнейшего исследования данного рода не только с морфологических и физиологических позиций, но и привлечения современных молекулярно-генетических методов. *Nostoc commune* – один из наиболее распространенных в наземных экосистемах видов данного рода. Изучение генетической дифференциации популяций этого космополитного вида чрезвычайно важно, т.к., благодаря способности к фиксации молекулярного азота, он играет особую роль в структурно-функциональной организации наземных экосистем арктических, аридных и горных регионов. Данный вид имеет широкую экологическую амплитуду (способен обитать как в водных, так и в наземных условиях при разной температуре и увлажненности) и используется в качестве модельного объекта многими исследователями мира (Novis, Smissen, 2006; Rehakova et al., 2007; Arima et al., 2012; . Исследование генетического полиморфизма географически удаленных популяций *Nostoc*, произрастающих в горных и равнинных местообитаниях различных природно-климатических зон, позволит подойти ближе к пониманию генетической изменчивости внутри вида.

Цель работы – изучение морфологического и генетического разнообразия популяций *Nostoc commune*, произрастающих в горных и арктических регионах европейского Севера. Пробы были собраны в течение 2000–2012 гг. на арх. Шпицберген, Полярном и Приполярном Урале, хребте Пай-Хой, Северном Кавказе, Забайкалье. Среди морфологических показателей были изучены размеры, форма и цвет колоний в природном и культуральном материале, размеры клеток и гетероцит. Для выделения штаммов *N. commune* использовали селективную питательную среду для цианобактерий Bg11 (без азота). Тотальную ДНК цианобактерий выделяли с помощью набора «FastDNA Spin Kit» (QBioGene, Canada) согласно инструкциям производителя. Выделенную ДНК хранили при температуре -20 °С. Для амплификации фрагмента последовательности гена 16S использовали праймеры CYA781R (gactactgggggtatctaatccatt) и CYA106L (cggacgggtgagtaaccgctga). Выравнивание по-

следовательностей и последующий анализ проводили при помощи программы MEGA 5.0. Для построения филогенетических деревьев был использован метод объединения ближайших соседей (NJ). Для оценки генетической дифференциации на уровне внутривидовых форм, а также для определения генетического расстояния между ними использован AFLP-метод (полиморфизм длин амплифицированных фрагментов), основанный на полиморфных нуклеотидных последовательностях ДНК, позволяющий определять генетические изменения, вызванные точечными мутациями в сайтах рестрикции или в участках отжига праймеров и небольшими вставками-делециями внутри рестрикционного фрагмента. В анализе использовали семь пар селективных праймеров EcoRI/MseI, по которым и генотипировали изучаемые популяции *N. commune*.

Изученные популяции ностока по морфологическим показателям и макроскопическим талломам были идентифицированы авторами как *N. commune*. Проведенные исследования показали, что у изученных популяций из разных регионов незначительные различались морфологические признаки (форма колоний, размеры клеток и гетероцит). Макроколонии изученных популяций ностока, собранных в природе, различались между собой по окраске и размеру и зависели от степени увлажнения местообитания вида. Самые мелкие колонии до 3 см в диаметре были отмечены на о. Шпицберген, самые крупные до 20–30 см в диаметре – на Полярном Урале. Мелкие размеры колоний на о. Шпицберген связаны с экстремальностью условий обитания. Это самый северный регион исследования, с самым коротким вегетационным периодом. На Полярном Урале максимальные размеры клеток связаны с тем, что колонии были собраны на выходах карбонатных пород. Так как носток является кальцефилом, то данное местообитание – одно из самых благоприятных для его произрастания. В целом, для всех регионов наблюдается следующая закономерность: популяции, обитающие в водной среде, значительно превышают в размерах колонии, развивающиеся в наземных условиях, размеры колонии заметно различаются за счет развития мощных полисахаридных слизистых чехлов.

Для выявления генетического разнообразия были получены последовательности фрагмента гена 16S рРНК цианобактерий, принадлежащих представителям рода *Nostoc* (шесть видов, включая *Nostoc commune*), длиной 620 п.н. Исследованные образцы из разных регионов обнаруживают высокое сходство генетического материала. При этом на филогенетическом древе можно выделить клады, объединяющие ностоки из разных регионов. В отдельную кладу входят образцы разных популяций *N. commune*, собранных в горно-тундровых районах европейского севера (Приполярный и Полярный Урал, Пай-Хой). Во второй кладе с хорошей поддержкой (коэффициент бутстрепа составил 73) популяции более южных горных и лесостепных регионов (Северный Кавказ, Забайкалье). Генетически наиболее удалена популяция *N. commune*, собранная на архипелаге Шпицберген. Она выделяется на древе в качестве сестринской группы, что связано, скорее всего, с влиянием на популяцию ностока исторически длительной островной изоляции этой территории. Для детального исследования внутривидовых различий *N. commune* был проведен AFLP-анализ семи популяций. На основе частот фрагментов проведен анализ главных координат, который показал, что популяция *N. commune* с острова Шпицберген отделяется от остальных, что сходно с наблюдаемыми выше результатами анализа последовательностей фрагмента гена 16S рРНК. При этом анализ данных с использованием программы Structure v.2.3.4 (для K от 2 до 7) не позволил определить число популяций на основе полученных данных.

Проведенные исследования указывают на существование незначительного генетического разнообразия в популяциях *N. commune*, обитающих в разных географических зонах. Для выявления популяционной изменчивости необходимы дополни-

тельные исследования с привлечением других генетических маркеров и проведения физиологических исследований.

Результаты получены при поддержке программ Фундаментальных исследований УрО РАН проект № 12-С-4-1002 и 12-И-4-2007.

Arima H., Horiguchi N., Takaichi S., et al. Molecular genetic and chemotaxonomic characterization of the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune* and its neighboring species // FEMS Microbiol. Ecol. 2012. V. 79. P. 34–45.

Novis P. M., Smitsen R. D. Two genetic and ecological groups of *Nostoc commune* in Victoria Land, Antarctica, revealed by AFLP analysis // Antarctic Science. 2006. V. 18, № 4. P. 573–581.

Rehakova K., Johansen J. R., Casamatta D. A., et al. Morphological and molecular characterization of selected desert soil cyanobacteria: three species new to science including *Mojavia pulchra* gen. et sp. Nov // Phycologia, 2007. V. 46. P. 481–502.

Р.Е. Романов¹, А.А. Гончаров²

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ ХАРОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ (STREPTOPHYTA: CHAROPHYCEAE, CHARALES)

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия, romanov_r_e@ngs.ru

²Биолого-почвенный институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, gontcharov@biosoil.ru

R.E. Romanov¹, A.A. Gontcharov²

MORPHOLOGICAL AND MOLECULAR POLYMORPHISM OF CHAROPHYTES (STREPTOPHYTA: CHAROPHYCEAE, CHARALES)

¹Central Siberian Botanical Garden, Siberian branch of the RAS, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, romanov_r_e@ngs.ru

²Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok, Russia, gontcharov@biosoil.ru

Цель работы – изучение генетической и морфологической дифференциации широко распространенных видов харовых водорослей. Это является необходимой основой для ревизии и совершенствования концепций вида и внутривидовых таксонов харовых водорослей, понимания и реконструкции процессов их видообразования, внутривидовой эволюции и флорогенеза. В качестве модельных выбраны виды рода *Chara* L. подрода *Chara* R.D. Wood, секции *Chara* R.D. Wood, подсекции *Chara* R.D. Wood: широко распространенные и часто встречающиеся в умеренных широтах многих регионов Голарктики пресноводные галотолерантные виды, развивающиеся в относительно широком диапазоне трофности, *C. contraria* A. Braun, *C. vulgaris* L. и редкий по всему ареалу вид *C. inconnexa* Allen. Исследованные популяции (40) расположены на юге Западной и Восточной Сибири (Алтайский край, Новосибирская область, Иркутская область, Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия), Забайкальский край), центральной части Восточно-Европейской равнины (Ярославская область). Ваучерные образцы депонированы в NS и SASY. Филогенетический анализ проведен с использованием комплекса методов: максимальной вероятности, максимальной парсимонии и Бейесова подхода. Такой комбинированный подход позволяет извлечь максимум филогенетической информации и компенсирует известные слабости отдельных методов анализа.

Проведено исследование изменчивости признаков ооспор с помощью сканирующей электронной микроскопии. Показан широкий диапазон изменчивости размеров ооспор. Выявлено четыре типа орнаментации поверхности ооспор: гладкая, гранулированная, пустилированная и мелкоямчатая. Степень выраженности орнаментации, по-видимому, отражает степень зрелости ооспор. Можно предположить, что гладкая поверхность была свойственна незрелым ооспорам изученных видов. Пустилированная оболочка выявлена у всех трех видов, гранулированная – у *C. contraria* и *C. vulgaris*, мелкоямчатая – у *C. contraria* и *C. inconnexa*. Таким образом, близкие виды *C. contraria* и *C. inconnexa* сходны по этому признаку и неотчетливо различаются частотой встречаемости отдельных вариантов.

Это означает невозможность их разграничения только по ультраскульптуре поверхности ооспор. Тип орнаментации не отражает географическое расположение исследованных популяций.

Выделено 40 образцов ДНК. Получены ПЦР продукты хлоропластного гена *rbcl* и межгенного спейсера ядерной рибосомной ДНК (ITS1 и ITS2). Проведена оценка варибельности использованных маркеров между секциями, видами, популяциями и внутри популяций. Секвенирование этих участков для модельных популяций показало, что *rbcl* и ITS2 характеризуются высокой консервативностью и малоинформативны для анализа внутри и межвидовой изменчивости изучаемых видов. Показано, что наиболее подходящим для характеристики межвидового полиморфизма является ITS1. Установлены два кластера последовательностей. Первый объединяет популяции *C. vulgaris*, второй включает популяции видов *C. contraria* и *C. inconnexa*. При этом ITS1 не позволил достоверно разграничить эти виды. Основываясь на полученных данных, можно предположить, что *C. inconnexa* – стадия онтогенеза или результат нетипичного морфогенеза *C. contraria*. Основные дифференцирующие признаки этих видов – количество и длина коровых сегментов листа в сочетании с относительной длиной бескоровой части листа, по-видимому, являются гомопластичными.

Авторы благодарны В.С. Вишнякову, Л.И. Копыриной и Б.Б. Базаровой за образцы харовых водорослей. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №13-04-90723 и № 14-04-31596).

И.В. Рыжик¹, А.А. Вильнет²

ПОЛИМОРФИЗМ *FUCUS DISTICHUS* L. МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

¹ Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия, alaria@yandex.ru

² Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Россия, anya_v@list.ru

I.V Ryzhik¹, A.A. Vilnet²

POLYMORPHISM OF *FUCUS DISTICHUS* L. ON THE MURMAN COAST OF THE BARENTS SEA

¹ Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia, alaria@yandex.ru

² Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Kirovsk, Russia, anya_v@list.ru

Фукоиды обладают большой морфологической изменчивостью и экологической пластичностью. Существует несколько характерных признаков фукоидов. Для *Fucus vesiculosus* L. – это наличие воздушных пузырей и раздельнополых рецептакулов; для *F. distichus* L. – наличие широких талломов и обоеполых рецептакулов, а также возможность формирования воздушных полостей; для *F. serratus* L. – наличие зубчатого края боковых ветвей, отсутствие воздушных полостей и раздельнополые рецептакулы. В настоящее время выделяют два основных кластера, в один из которых входит *F. vesiculosus*, а в другой – *F. distichus* и *F. serratus*. Внутри кластеров существует большая генетическая варибельность, но граница между ними проходит достаточно четко (Максимова, Мюге, 2007; Billard, 2007).

В районе исследования (биостанция Дальние Зеленцы, Мурманское побережье Баренцева моря, 69.07° с.ш., 36.04° в.д) произрастают все три вида фукусов. *F. serratus* выделяется достаточно четко, а два других вида в зависимости от условий обитания (открытый берег, литоральные ванны, кутовые участки губ) могут принимать различные формы, вследствие чего определение их видовой принадлежности затруднено. Нами было отобрано несколько образцов водорослей из различных участков литоральной зоны:

1. Растения с талломами длиной до 3 см и шириной 2–3 мм, рецептакулы до 5 мм длиной, криптостомы редкие. Растут небольшими куртинками. Произрастают на отвесных скалах в открытой части побережья, подверженных прямому воздействию океанических волн (степень прибойности 1). Соленость 33–35‰.

2. Растения с талломами длиной до 10 см и шириной около 1 мм, рецептакулы отсутствуют, криптостомы встречаются крайне редко. Произрастают в литоральных ваннах, располагающихся в расщелинах и углублениях скал. Ванны не осушаются во время отлива. За счет наличия пресного стока колебания солености могут составлять 14.3–38.7‰ (Уланова, 2003). Из защищенной от прямого действия океанических волн части губы Зеленецкая (степень прибойности 3–4, соленость 32–34‰) были отобраны образцы с достаточно четкими морфологическими признаками видов:

3. Растения до 40–50 см длиной и 1–1,5 см шириной, рецептакулы крупные, длиной 3–4 см, криптостомы расположены по всей поверхности таллома. Произрастают в среднем горизонте литоральной зоны. Предположительно *F. distichus*.

4. Растения до 40–50 см длиной и 1–1,5 см шириной. Ветви зубчатые, воздушные пузыри отсутствуют. Произрастают в нижнем горизонте литоральной зоны. Предположительно *F. serratus*.

5. Растения до 150 см длиной и до 1 см шириной. Ветви с парными воздушными пузырями, линейные, цельнокрайние, волнистые. Рецептакулы раздельнополые. Произрастают в верхнем горизонте литоральной зоны. Предположительно *F. vesiculosus*.

Для всех образцов были получены последовательности ITS1-2 ядДНК с использованием универсальных праймеров (White et al., 1990). Выравнивание, созданное в программе BioEdit (Hall, 1999), анализировали методами NJ (программа Treecon (Van de Peer, De Wachter, 1994)) и MP (программа TNT (Goloboff et al., 2003)). Значения генетических расстояний получены в программе Mega 5.1 (Tamura et al., 2011).

Топологии деревьев, построенных разными методами, оказались сходными: древо укореняется на образец морфологически идентифицированный как *F. vesiculosus* (п№5). Образцы с морфологией *F. serratus* (п№4) локализованы в кладе, сестринской к кладе образцов с морфологией *F. distichus* и промежуточных форм (пп №1–3). Полученная топология согласуется с результатами ранее опубликованных исследований для побережья Канады (Kucera, Saunders, 2008). Образцы *F. serratus* имеют идентичные последовательности, генетические различия среди образцов *F. distichus* состоят в замене одного нуклеотида в ITS1 у одного из образцов (0.02 %). Генетические различия между *F. distichus* и *F. serratus* насчитывают 0.8%, в то время как *F. vesiculosus* дивергировал от каждого из них на 1.6% и 1.9% соответственно. В ходе анализа данных, полученных нами, а также Кучера и Сандерсом (Kucera, Saunders, 2008), выделены субклады баренцевоморских растений в кладах соответствующих видов, сформированных образцами с Канадского побережья, что может объясняться значительной географической обособленностью популяций.

Таким образом, *F. distichus*, в районе губы Зеленецкая под действием комплекса абиотических факторов проявляет достаточно высокую морфологическую вариативность, но генетически остается достаточно гомогенным таксоном.

Максимова О.В., Мюге Н.С. Новые для Белого моря формы фукоидов (Fucales, Phaeophyceae): морфология, экология, происхождение // Бот. журн. 2007. Т. 92, №7. С. 965–986.

Уланова А.А. Водоросли водоемов с нестабильной соленостью побережий Белого и Баренцева морей // Автореф. дис. ...канд. биол. наук. СПб., 2003. 21 с.

Billard Em. Evolution of mating systems and their implication in the processes of speciation and hybridization in brown algae of the genus *Fucus* // Tese dout., Ecologia, Universidade do Algarve, 2007

Goloboff, P., Farris, S., Nixon, K. T.N.T.: Tree analysis using New Technology. 2000. Program and documentation, available from the authors, and at www.zmuc.dk/public/phylogeny.

Hall T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // Nucleic Acids Symposium Series 1999. V. 41. P. 95–98.

Kucera H., Saunders G.W. Assigning morphological variants of *Fucus* (Fucales, Phaeophyceae) in Canadian waters to recognized species using DNA barcoding // Botany. 2008. V. 86. P. 1065–1079.

Tamura, K., Peterson, D., Peterson, et al. MEGA 5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony // Method. Molecular Biology and Evolution. 2011. V. 28. P. 2731–2739.

Van de Peer, Y., De Wachter, R. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment // Comput. Applic. Biosci. 1994. V. 10. P. 569–570.

White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // PCR protocols: a guide to methods and applications. San Diego, CA, 1990: P. 315–322.

А.Д. Темралева¹, Е.В. Минчева², Ю.С. Букин², Д.Ю. Щербаков^{2,3}, Д.Л. Пинский¹
СИСТЕМАТИКА ПОЧВЕННЫХ ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ: ПОЛИФАЗНЫЙ ПОДХОД

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
г. Пушкино, Россия, temraleeva.anna@gmail.com

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

³Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

A.D. Temraleeva¹, E.V. Mincheva², Yu.S. Bukin², D.Yu. Sherbakov^{2,3}, D.L. Pinsky¹
THE SYSTEMATICS OF SOIL GREEN ALGAE: A POLYPHASIC APPROACH

¹Institute of physico-chemical and biological problems of soil science of RAS, Pushchino, Russia,
temraleeva.anna@gmail.com

²Limnological institute SB RAS, Irkutsk, Russia

³Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Согласно современным представлениям, для оценки таксономического разнообразия зеленых водорослей (Chlorophyta) необходимо использовать полифазный подход, учитывающий морфологические, ультраструктурные, экологические, молекулярные и другие данные. При изучении альгофлоры серой лесной почвы Московской области (Россия) нами была изолирована зеленая водоросль, которая по некоторым морфологическим признакам была близка к родам *Chlorosphaeropsis*, *Chlorochytrium*, *Chlorosarcinopsis sensu lato*, но не идентична ни одному из них. Этот штамм вошел в состав Коллекции культур водорослей ИФХиБПП РАН как ACSSI 15 (Algal Collection of Soil Science Institute). Целью нашей работы являлось определение таксономического статуса данного штамма и установление его положения в системе Chlorophyta с использованием полифазного подхода.

Штамм ACSSI 15 был изолирован из пробы серой лесной почвы, отобранной из верхнего 5 см слоя горизонта A1 в 2009 г. на пробной площадке №4 ИФХиБПП РАН в окрестностях г. Пушкино (Московская обл., Центральная часть Восточно-Европейской равнины, зона широколиственных лесов). Культивирование штамма проводили на среде BG11 с азотом (1% агар, pH = 7.0) при температуре 23–25° С, освещенности 2000 Лк и световом режиме 12:12 ч.

Изучение морфологии и жизненного цикла исследуемого штамма проводили методами световой микроскопии (светлое поле и интерференционный контраст) с помощью микроскопов Leica DM750 и Carl Zeiss Axio Scope A1 (Германия). Сроки наблюдения составляли от 12 ч до 6 мес. Кроме исследованного штамма ACSSI 15, изучили морфологию четырех аутентичных штаммов из *Stephanosphaerinia*-клады: *Chlorococcum oleofaciens* ACKU 542-06, *Chlorococcum sphacosum* ACKU 673-06, *Neosporiococcum gelatinosum* ACKU 631-06, *Sporiochloris spongiosa* ACKU 649-06.

ДНК выделяли из альгологически чистой культуры штамма с помощью лизирующего буфера СТАВ и протеиназы К с последующей экстракцией смесью хлороформ-изоамиловый спирт (Doyle, Dickson, 1987). Праймеры и условия ПЦР для амплификации фрагментов ядерного гена 18S рДНК и хлоропластного гена *rbcl* использовали из работ (Katana et al., 2001; McManus, Lewis, 2011). ПЦР-продукты анализировали электрофоретически в 1% агарозном геле. Секвенирование нуклеотидных последовательностей проводили в компании «Синтол» (Москва, Россия).

Филогенетический анализ (выравнивание нуклеотидных последовательностей) осуществляли по алгоритму ClustalW (BioEdit), для выбора модели нуклеотидных замен использовали программу jModelTest. Филогенетические деревья строили методом максимального правдоподобия (phyML) и методом Байеса (Mr. Bayes 3.1).

Статистическую поддержку деревьев оценивали методом бутстрэпа (1000 повторностей) и определяли апостериорные вероятности.

Данный штамм имел следующую морфологию: молодые вегетативные клетки, образовавшиеся из остановившихся зооспор или апланоспор, шаровидные с тонкой оболочкой. Хлоропласт один, пристенный. Пиреноид один, с крахмальной оберткой, которая на максимальных увеличениях микроскопа кажется цельной. Ядро одно. Зрелые клетки в результате десмосхизиса находятся в диадах, тетрадах и более сложных комплексах. Имеют центральный губчатый хлоропласт, грубеющий с возрастом культуры. Крахмальная обертка пиреноида в зрелых клетках фрагментируется, количество фрагментов может достигать пяти. С возрастом культуры слизистая оболочка утолщается до 5 мкм. Минимальный диаметр молодых вегетативных клеток достигает 5 мкм, зрелых клеток до 22.1 мкм. Старая культура, выращенная на агаризованной среде, изменяет цвет с зеленого на оранжевый, наблюдаются красные продолговатые акинеты с гладкой слоистой оболочкой. Бесполое размножение происходит посредством формирования зооспор и апланоспор, а также путем десмосхизиса. Апланоспоры шаровидные 4.5–6 мкм в диаметре. Зооспоры без оболочки, метаболические, стигма передняя палочковидная, пиреноид плохо заметный, срединный, ядро заднее (?), жгутики равной длины. Размер зооспор в движении 7.8–8.1 x 3.6–4.1 мкм, после остановки 5–5.2 мкм в диаметре. В целом, по комплексу морфологических признаков, таких как голые двужгутиковые зооспоры, десмосхизис с образованием диад, тетрад и более сложных комплексов, данный штамм был близок к родам *Chlorosarcinopsis*, *Chlorochytrium* и *Chlorosphaeropsis*, однако отличался от них губчатым хлоропластом, а от последнего еще и одноядерными вегетативными клетками. Кроме того, данный штамм был изолирован из почвы, в то время как среди представителей наиболее близкого рода *Chlorochytrium* известны только пресноводные виды. Молекулярный анализ участков ядерного и хлоропластного геномов подтвердил таксономическую самостоятельность ACSSI 15. Генетическая дистанция между штаммом ACSSI 15 и наиболее близкородственным таксоном *Ch. lemnae* равнялась 1.8 и 8 % для фрагментов генов 18S рДНК и *rbcL*, соответственно. Кроме того, у обоих видов *Chlorochytrium* (*Ch. lemnae*, *Ch. hypanicus*) во фрагменте 18S рДНК был обнаружен интрон длиной 578–602 п.н. в отличие от исследованного штамма. Таким образом, на основе молекулярно-филогенетического анализа, данных по экологии и наблюдений за морфологией и жизненным циклом водоросли, штамм ACSSI 15 может быть определен как новый род *Spongiosarcinopsis* с типовым видом *S. terrestris*.

Авторы благодарят д.б.н., профессора И.Ю. Костикова за предоставление штаммов зеленых водорослей из коллекции АСКУ и ценные консультации. Исследование поддержано грантами РФФИ 14-04-31016 мол_а и 13-04-00034 а.

Doyle J.J., Dickson E. Preservation of plant samples for DNA restriction endonuclease analysis // *Taxon*. 1987. V. 36. P. 715–722.

Katana A., Kwiatowski J., Spalik K. et al. Phylogenetic position of *Koliella* (Chlorophyta) as inferred from nuclear and chloroplast small subunit rDNA // *J. Phycol.* 2001. V. 37. P. 443–451.

McManus H.A., Lewis L.A. Molecular phylogenetic relationships in the freshwater family Hydrodictyaceae (Sphaeropleales, Chlorophyceae), with an emphasis on *Pediastrum duplex* // *J. Phycol.* 2011. V. 47. P. 152–163.

**Секция 2. Разнообразие, экология и география водорослей.
Биологические инвазии.
Section 2. Diversity, ecology and geography of algae.
Biological invasions.**

Н.В. Анненкова
ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА
Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, tasha.annenkova@gmail.com
N. V. Annenkova
DINOFLGELLATES OF THE BAIKAL REGION
Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia, tasha.annenkova@gmail.com

Байкал – самое древнее (более 25 млн лет) и глубокое (около 1640 м) озеро на Земле (Mats et al., 2011). В силу целого ряда своих особенностей оно является уникальным местом для исследования живых организмов. Помимо Байкала в Байкальском регионе находится огромное количество других озер разного происхождения и солености, горячие источники, болота. Все они мало исследованы.

Динофлагелляты – одноклеточные организмы, встречающиеся в разнообразных водоемах и обладающие различным типом питания: от фототрофии до паразитизма (Taylor et al., 2008). Первые упоминания о панцирных динофлагеллятах в озере Байкал относятся к 1930-м гг. Лишь в 1950-е гг. Н.Л. Антиповой были обнаружены беспанцирные байкальские динофлагелляты. До сих пор не было специальных исследований динофлагеллят в других озерах региона, они лишь упомянуты в некоторых общих списках водорослей. С 2009 г. байкальские динофлагелляты исследуются не только методами микроскопии, но молекулярно-генетическими (Анненкова и др., 2009).

Наиболее массовые планктонные динофлагелляты Байкала (*Gymnodinium baicalense*, *Peridinium baicalense*) эндемичны для региона. По всей вероятности, они произошли недавно от предковых форм из холодных солоноватых вод. Наиболее филогенетически близким родственником *G. baicalense* является *Gymnodinium corollarium* из Арктики, а *P. baicalense* наиболее близок к балтийской *Scrippsiella hangoei*. Примечательно, что сама *S. hangoei*, считавшаяся морским видом, также найдена в пресноводном Байкале. Кроме этого в Байкале обитает *Peridinium eurycaps*, описанный ранее только в двух озерах Швеции. В заливах озера Байкал можно встретить вид *Peridinium aciculiferum*. Крайне интересным является факт, что виды *P. baicalense*, *S. hangoei*, *P. eurycaps* и *P. aciculiferum* генетически очень близки друг другу, хотя и имеют четкие морфологические отличия, что говорит о недавней адаптивной радиации, приведшей к их образованию. Все вышеперечисленные виды вызывают подледное «цветение» воды в весенний период.

Круглый год в байкальском фитопланктоне встречается гетеротрофная динофлагеллята *Gyrodinium helveticum*, а летом в заливах – фототрофная *Ceratium hirundinella*. Кроме этого, фрагменты ДНК различных динофлагеллят были найдены при изучении ткани байкальских губок (Annenkova et al., 2011). Некоторые из этих динофлагеллят принадлежат порядку Suessiales и рассматриваются как вероятные симбионты донных губок. Часть фрагментов ДНК принадлежит динофлагеллятам, попавшим в губки из планктона за счет адсорбции или же бентосным видам.

Кроме Байкала в Восточной Сибири находится множество озер, например, только в Забайкалье известно 40361 озеро. При исследовании 91 озера Н. А. Бондаренко обнаружила 15 видов динофлагеллят, в основном активных весной (Бондаренко, 2009). Недавно, некоторые из них были исследованы с помощью оптической микроскопии и метода ПЦР из одной клетки. Согласно данным микроскопии в озере Шанталык найдены *Peridinium cinctum*, *Peridinium wierzejskii* и динофлагеллята *Woloszynskia* sp. Последняя найдена и в озере Духовое. *Peridinium aciculiferum* обна-

ружен в озерах Духовое и Котокель. *Borghiella tenuissima* и *Peridinium baicalense* найдены в озере Заверняиха, сообщаясь с Байкалом. В то же время генетический анализ этих организмов выявил небольшие различия в ДНК при сравнении с данными видами из других районов. Например, фрагменты 18S рДНК (1200 н.) *P. wierzejskii* из байкальского региона отличаются на два нуклеотида в сравнении с ДНК этого вида из базы данных GenBank, *P. cinctum* из озера Шанталык имеет шесть отличных нуклеотидов в этом фрагменте по сравнению с представителем вида из Японии. Скорее всего, эти различия объясняются тем, что поток генов между популяциями из изученных районов и других местообитаний уже давно довольно мал и изолированные популяции накопили ряд мутаций в ДНК. Для того, чтобы говорить об образовании новых видов нужны более детальные исследования.

Сообщество планктонных динофлагеллят в Байкале относительно небольшое, но играет важную роль, особенно в течение весеннего подледного сезона. В некоторые годы их обилие выше, чем таковое у диатомовых (Вотинцев и др., 1975). Вместе с тем, таксономическая позиция определена верно лишь для *Gymnodinium baicalense* (Annenkova, 2013). Байкальский *Gymnodinium soureleum* недавно пересмотрен и отнесен к виду *Gyrodinium helveticum* (Анненкова и др., 2009), таксономический статус *Peridinium baicalense* и *Peridinium eurycaps* должен быть пересмотрен в будущем. Среди динофлагеллят из других озер региона эндемичных не найдено, в то же время эти исследования лишь начаты. Кроме этого, в более детальном, популяционно-генетическом исследовании нуждаются космополитные виды региона, так как их популяции генетически отличаются от популяций соответствующих видов из других регионов. В целом, изучение динофлагеллят северо-азиатских озер поможет лучше понять биогеографию этих организмов и может предоставить новые модельные экосистемы для исследования процессов эволюции и экологии одноклеточных организмов.

Анненкова Н.В., Белых ОИ, Деникина Н.Н., Беликов С.И. Идентификация представителей динофлагеллят озера Байкал на основе молекулярно-генетических данных // Докл. Академии Наук. 2009. Т. 426. № 4. С. 559 – 562.

Бондаренко Н. А. Экология и таксономическое разнообразие планктонных водорослей в озерах горных областей Восточной Сибири // Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Борок, 2009. 46 с.

Вотинцев К.К., Мещерякова А.И., Поповская Г.И. Круговорот органического вещества в озере Байкал. Новосибирск: Наука, 1975. 188 с.

Annenkova N.V. Phylogenetic relations of the dinoflagellate *Gymnodinium baicalense* from Lake Baikal // CEJB. 2013. V. 8. № 4. P. 366-373.

Annenkova N.V., Lavrov D.V., Belikov S.I. Dinoflagellates associated with freshwater sponges from the ancient Lake Baikal // Protist. 2011. V. 162. P. 222–236.

Mats V.D., Shcherbakov D.Yu., Efimova I.M. Late Cretaceous–Cenozoic History of the Lake Baikal Depression and Formation of Its Unique Biodiversity. // Stratigr. Geo. Correl. 2011. V. 19, № 4. P. 404–423.

Taylor F.J.R., Hoppenrath M., Saldarriaga J.F. Dinoflagellate diversity and distribution // Biodiv. Cons., 2008. V. 17. P. 407–418.

В.Б. Багмет, Ш.Р. Абдуллин, Д.И. Ахмедьянов, Т.А. Назарова, А.В. Худякова
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА ДИАМЕТР КЛЕТОК *MYCHONASTES*
***HOMOSPHERA* (SKUJA) KALINA ET PUNC.**

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия, chara1989@yandex.ru
V.B. Bagmet, Sh.R. Abdullin, D.I. Akhmedyanov, T.A. Nazarova, A.V. Khudyakova
THE INFLUENCE OF DIFFERENT CULTIVATION CONDITIONS ON THE DIAMETER OF
***MYCHONASTES HOMOSPHERA* (SKUJA) KALINA ET PUNC. CELLS**

Bashkir State University, Ufa, Russia, chara1989@yandex.ru

Накопление сведений об изменчивости водорослей в монокультуре необходимо для выявления закономерностей этого явления, чтобы в свою очередь использовать их при сравнительно-морфологических исследованиях. С аномальными формами связана не только проблема таксономической принадлежности. Это материал

для исследования признаков в процессе видообразования (Генкал, Елизарова, 1989). Известно, что при культивировании в разных условиях могут изменяться морфологические параметры различных видов водорослей (Паламарь-Мордвинцева, Царенко, 2007). Целью данной работы было определить морфологическую изменчивость зеленой водоросли *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punc. при культивировании в автотрофных и гетеротрофных условиях.

Для эксперимента использовали миксотрофный штамм *M. homosphaera*, выделенный из соскоба со стены недалеко от входного колодца на дне пещеры Пропащая яма (Бурзянский район, Республика Башкортостан), с начальным средним диаметром клеток 11.21 мкм. Предварительно, перед началом эксперимента штамм был очищен от грибов и бактерий с помощью антибиотика нистатина (Сиренко и др., 1975). Опытным путем была подобрана наиболее эффективная концентрация антибиотика – 80 ЕД/мл. Штамм культивировали на среде Громова №6 (Громов, 1965) (контроль), в опытную среду дополнительно добавили 1% раствор глюкозы. Оба варианта культивировались как на свету, так и в темноте. Измерялся диаметр 30 клеток в каждом из вариантов опыта в течение десяти дней культивирования. Полученные данные были обработаны с помощью пакета программ Statistica 8.0 и Microsoft Office Excel 2007.

По данным В.М. Андреевой (1998) диаметр клеток *M. homosphaera* составляет от 1.5 до 10 мкм. В естественных условиях водоросль, как правило, имеет очень мелкие размеры – от 1–1.5 до 3.5–5.7 мкм в диаметре. В культуре же верхний предел клеточных размеров обычно возрастает. Различия средних значений диаметра клеток между контролем в темноте, опытной средой на свету и опытной средой в темноте на протяжении всего опыта были достоверными ($p < 0.001$), различия средних значений диаметра клеток с контролем на свету стали достоверными с седьмого дня ($p < 0.001$). Средние значения диаметра клеток в различных условиях составили: свет, контроль – 11.33 мкм, свет, глюкоза – 16.97 мкм, темнота, контроль – 10.03 мкм, темнота, глюкоза – 10.11 мкм. Интересно отметить, что максимальная численность клеток была выявлена при культивировании в контроле на свету, минимальная – в контроле в темноте (Багмет и др., 2013).

На свету в контроле средний диаметр клеток *M. homosphaera* на 10-й день исследования составлял 16.97 мкм, что достоверно ($p < 0.002$) превышает данный показатель до начала эксперимента, а также средние значения диаметра клеток в других вариантах опыта. По-видимому, при культивировании данного штамма на свету в среде с глюкозой происходит замедление репродуктивной функции, но при этом увеличиваются размеры клеток. Средние значения диаметра клеток в других вариантах при окончании опыта достоверно ($p < 0.001$) не различались между собой и с начальным средним диаметром клеток.

Таким образом, было выявлено, что диаметр клеток *M. homosphaera* на свету в среде с глюкозой почти в 1.5 раза превышал границу вида. Это следует учитывать при идентификации данного вида по морфологическим признакам. Полученные в ходе исследования данные о существовании различных морфологических статусов *M. homosphaera* расширяют знания о морфологической изменчивости водорослей.

Багмет В.Б., Крупская Ю.В., Абдуллин Ш.Р. Особенности питания водорослей *Nitzschia palea* (Kutz.) W. Sm. (Bacillariophyta) и *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punc. (Chlorophyta) // Изв. СамарскогоНЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3 (4), С. 1207–1209.

Генкал С.И., Елизарова В.А. Новые данные по изменчивости водоросли *Diatoma elongatum* Ag. в культуре // Биология внутренних вод. 1998. С. 32–36.

Громов Б.В. Коллекция культур водорослей Биологического института Ленинградского ун-та // Тр. Петергоф. биол. ин-та ЛГУ. Л., 1965. Т. 19. С. 125–139.

Паламарь-Мордвинцева Г.М., Царенко П.М. Концепция вида и современные задачи систематики водорослей // Альгология. 2007. Т. 17, № 4, С. 421–443.

Сиренко Л.А., Сакевич А.И., Осипов Л.Ф. и др. Методы физиолого-биохимического исследования во-

дорослей в гидробиологической практике. Киев: Наукова думка, 1975. 248 с.
Успенская В.И. Экология и физиология питания пресноводных водорослей. М.: МГУ, 1966. 123 с.

Ю.М. Бачура, О.М. Храмченкова
ВОДОРΟΣЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАНЫХ ПОЧВ
ОКРЕСТНОСТЕЙ Г. ГОМЕЛЯ (БЕЛАРУСЬ)

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь,
julia_bachura@mail.ru, hramchenkova@gsu.by

Y.M. Bachura, O.M. Khramchenkova
ALGAE AND CYANOBACTERIA ON ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED SOILS
IN THE VICINITIES OF GOMEL CITY (BELARUS)

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus, julia_bachura@mail.ru, hramchenkova@gsu.by

Изучение изменений организации водорослевых сообществ как отклика на антропогенные воздействия является необходимым условием для выявления общих тенденций трансформации экосистем, расположенных в пригороде крупной городской агломерации. Считается, что почвенные водоросли и особенно их сообщества являются хорошими биоиндикаторами почв, так как они быстро реагируют на изменения почвенных условий, сходны с высшими растениями по реакциям на состояние почвы. Кроме того, разнообразие видового состава водорослей и высокая биомасса определенных видов является показателем плодородия почв. Сведений о составе, структуре сообществ и распространении почвенных водорослей на территории юго-востока Беларуси крайне мало. Практически отсутствуют данные о приуроченности отдельных видов водорослей и альгосообществ к определенным видам антропогенной трансформации почв. Целью работы являлось изучение структуры сообществ почвенных водорослей и цианобактерий антропогенно-преобразованных почв и выявление тенденций ее изменения в зависимости от вида и степени антропогенной нагрузки.

При выполнении исследования пробы почвы отбирали на территории г. Гомеля и ближайшего пригорода. Для отбора были выбраны следующие участки: тропинки в смешанном лесу, туристические стоянки, места горения разведенных нами костров и прилегающая к ним территория, придорожные газоны некоторых улиц города, Гомельский городской полигон твердых бытовых отходов (ГГПТБО), отвалы фосфогипса Гомельского химического завода (ГХЗ) и прилегающая к ним территория, деградированные торфяники на сельхозугодьях. Для выявления видового состава водорослей использовали культуральные методы. К дальнейшему анализу принимали данные о видах, встречаемость которых составляла 20–70%. Путем расчета коэффициентов ранговой корреляции выделили группы водорослей, приуроченных к почвам, испытывающим определенный вид антропогенной нагрузки.

В исследованных почвах было выявлено 156 видов водорослей, относящихся к шести отделам, 9 классам, 28 порядкам, 51 семейству, 85 родам. Из них: Chlorophyta – 48.7%, Cyanobacteria – 24.4%, Bacillariophyta – 12.8%, Xanthophyta – 11.6%, Eustigmatophyta – 1.9% и Euglenophyta – 0.6%. Альгофлора антропогенно-преобразованных характеризуется значительной долей одновидовых семейств (29.4%) и родов (55.3%).

В почвах лесных тропинок с увеличением степени вытаптывания на начальных этапах показано усложнение структуры альгогруппировок, а затем – снижение видового богатства водорослевых сообществ, в частности за счет исчезновения желто-зеленых водорослей. Наибольшее развитие цианей и диатомей, а также одноклеточных и пакетообразующих зеленых было приурочено к открытым участкам почвы. По мере увеличения степени вытаптывания в составе альгогруппировок сокращалась доля водорослей H- и P-форм, рос вклад диатомей (B-форма). К обитанию в почвах тропинок приурочены: *Klebsormidium flaccidum*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Lep-*

tolyngbya tenuis, *Microcoleus vaginatus*, *Chlorella minutissima*, *Phormidium* cf. *boryanum*, *Chlamydomonas gelatinosa* и *Scotiellopsis rubescens*.

В почве туристических стоянок для нарушенных участков отмечена активная вегетация цианобактерий, заметное увеличение доли диатомовых водорослей и снижение желтозеленых. В спектре жизненных форм нарушенных участков отмечено уменьшение вклада представителей С-жизненной формы и увеличение доли В- и Р-форм. К обитанию на турстоянках оказались приурочены: *Microcoleus vaginatus*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Navicula pelliculosa*, *Phormidium* cf. *boryanum*, *Phormidium molle*, *Nostoc punctiforme*, *Luticola nivalis*, *Fernandinella alpina*.

На расстоянии 1 м от костров обнаружено в 2–3 раза больше видов водорослей, чем в почвах кострищ. Под влиянием пирогенного воздействия наблюдали практически полное исчезновение цианей и диатомей из альгогруппировок, выпадение эвгленофитовых и эустигматофитовых водорослей. В почвах кострищ около 40% состава альгогруппировок приходилось на представителей Сh-формы; отмечено угнетение водорослей Р- и В-форм. К почвам территорий, прилегающих к кострищам приурочены: *Cosmarium anceps*, *Navicula pelliculosa*, *Navicula atomus*, *Phormidium dimorphum*, *Phormidium* cf. *retzii*, *Leptolyngbya tenuis*, *Cyanothece aeruginosa*.

В почве придорожных газонов улиц города в структуре альгогруппировок выявлено расширение числа видов зеленых водорослей Сh- и цианей Р-жизненной формы, а также сокращение количества представителей С-формы по градиенту транспортной нагрузки. К почвам придорожных газонов приурочены: *Chlamydomonas oblongella*, *Microthamnion kuetzingianum*, *Phormidium dimorphum*, *Pinnularia borealis*, *Navicula pelliculosa*, *Nostoc punctiforme*, *Stichococcus bacillaris*, *Chlorella mirabilis*, *Chlamydomonas gelatinosa*.

С уменьшением количества обнаруженных видов водорослей, входящих в состав альгогруппировок ГППТБО, отмечено снижение количества представителей отделов Xanthophyta и Cyanophyta, сокращение разнообразия жизненных форм водорослей. К почвам данных участков приурочены: *Hantzschia amphioxys*, *Navicula pelliculosa*, *Luticola mutica*, *Desmotetra stigmatica*, *Chlorella minutissima*, *Luticola nivalis*.

На отвалах фосфогипса преобладали зеленые водоросли, особенно Сh-формы, отсутствовали диатомовые. На старых отвалах выявлено значительное увеличение доли цианей Р- и С-форм в составе альгосообществ. Установлено, что смена состава водорослей фосфогипсовых субстратов ГХЗ происходит по схеме: *Elliptochloris* sp., *Chlorosarcinopsis* sp. (свежие отвалы) → *Palmellopsis* sp., *Fernandinella alpina*, *Microcystis pulvereae*, *Chlamydomonas oblongella* и *Myrmecia bisecta* (средневозрастные отвалы без растений) → *Keratococcus bicaudatus*, *Chlorella ellipsoidea* (средневозрастные отвалы со мхами) → *Chlamydomonas* sp., *Chlorococcum* sp., *Scotiellopsis rubescens*, *Merismopedia* sp., *Neosporangium* sp., *Stichococcus bacillaris*, *Heterococcus* sp. (средневозрастные отвалы с травянистыми растениями и мхами) → *Leptosira terricola*, *Phormidium molle*, *Leptolyngbya tenuis*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Microthamnion kuetzingianum*, *Tolypothrix* sp., *Phormidium dimorphum*, *Bracteacoccus minor*, *Nostoc paludosum*, *Nostoc punctiforme*, *Nostoc linckia* (старые отвалы).

Для дегроторфяников отмечен рост участия цианобактерий в составе альгосообществ с увеличением pH почвенного раствора. Более высокий вклад Сh-форм в структуру альгосообществ совпадает с показателями содержания органического вещества в агроторфяно-минеральном горизонте. Статистически установлена последовательность водорослей сменяющих друг друга при увеличении pH почвенного раствора дегроторфяников: *Macrochloris* sp., *Chlorosarcinopsis* sp. (pH = 4.5) → *Cylindrocystis* sp., *Vischeria stellata* (pH = 5.3) → *Leptolyngbya tenuis*, *Phormidium* sp. 2 (pH = 5.8) → *Scotiellopsis* sp., *Phormidium* cf. *boryanum*, *Hippodonta capitata* (pH = 7.3).

С.Н. Быкова
ФОРМИРОВАНИЕ ФИТОПЕРИФИТОНА В ЗАРОСЛЯХ *STRATIOTES ALOIDES*
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, snb@ibiw.ru
S.N. Bykova
FORMATION OF PHYTOPERIPHERYTON IN THE THICKETS *STRATIOTES ALOIDES*
I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, snb@ibiw.ru

Сукцессия микроперифитонных сообществ зависит от многих факторов среды, одним из которых являются макрофиты. Их сила воздействия зависит от многих параметров: видовой принадлежности растения, физиологического состояния и др. Ранее проведенные исследования по определению влияния некоторых прибрежных макрофитов на формирование микроперифитона показали изменения, происходящие в таксономическом составе и численности (Быкова, 2010; Быкова, 2011, Быкова, 2012). *Stratiotes aloides* (телорез алоеvidный) часто встречается в прибрежной зоне и может занимать обширные площади. Изучено влияние телореза на отдельные фитопланктонные организмы, многие из которых входят в состав микроперифитона (Mulderij, 2005; Al-Shehri, 2010). В связи с этим был вызван интерес к изучению влияния данного макрофита на формирование микроперифитонных сообществ.

Исследование проводили 61 сут в период активной вегетации *Stratiotes aloides* - июль, август 2010 г. Экспериментальные экосистемы создавали в пластиковых лотках, которые заливали профильтрованной через газ с размером ячеи 64 мкм речной водой до объема 300 л, в трех повторностях. Во избежание резкого суточного перепада температур лотки помещали в бассейн с водой. Формирование микроперифитона происходило на искусственных субстратах – предметных стеклах, удерживаемых пенопластовыми поплавками в верхней части эвфотической зоны. Объектами исследования служили водоросли. Таксономический состав и численность водорослей на стеклах определяли методом прямого микроскопирования неконцентрированных и нефиксированных проб с помощью микроскопа БИММ РР13.

В контроле численность водорослей в среднем за эксперимент была выше, чем в лотках с *Stratiotes aloides* L. В обоих вариантах было обнаружено от 4 до 16 таксонов (в разные даты измерения) перифитонных и планктонных форм пресноводных водорослей. В начальной стадии формирования экспериментальных сообществ (12 сут) в контроле по численности и количеству видов преобладали зеленые водоросли, особенно по численности – *Coleochaete scutata* Brebisson, *Hormidium* sp. Klebs и синезеленые водоросли *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs. Далее, к 19 сут в большом количестве были обнаружены диатомовые *Navicula pupula*, что привело к увеличению общей численности автотрофных организмов. Далее количество клеток этого вида и других автотрофных организмов снизилось, и к 33 сут общие значения этого показателя были минимальными. Вторая половина эксперимента характеризовалась доминированием синезеленых водорослей *Rivularia* sp., и к 61-м сут их численность составляла 90% общей.

В варианте с телорезом на 12-е сут доминировали зеленые водоросли *Coleochaete scutata* Brebisson, *Stigeoclonium* sp. Kütz., и синезеленые – *Aphanizomenon flos-aquae* L. Ralfs. Далее до 19-х сут численность зеленых водорослей указанных видов увеличилась, синезеленых – снизилась. Начала нарастать численность диатомовых водорослей, особенно *Navicula pupula*, в результате чего общие значения численности на 26-е сут стали выше контрольных. Данный вид доминировал до 47-х сут с последующим снижением и вновь повышением. К 41-м сут полностью пропали синезеленые водоросли, в том числе и водоросли рода *Anabaena* sp., которые в контроле, во второй половине исследования, составляли заметную долю. С 33 до 61 сут в сообществах микроперифитона варианта с гидрофитом значительно сократился не только таксономический состав, но и количество зеленых водорослей, ранее доминирующих в сообществах микроперифитона. Их

численность возросла только на 61-е сут. Период с 33 по 47 сут отличался низким количеством таксонов автотрофных организмов – максимально 6. К 61 сут этот показатель увеличился до 14, в основном, среди диатомовых и зеленых водорослей. Следует отметить развитие именно диатомовых водорослей в варианте с гидрофитом, в контроле данная группа водорослей не преобладала.

Сравнивая по таксономическому составу сообщества фитоперифитона контроля и варианта с *Stratiotes aloides* отметили, что до 33 сут индекс сходства (по Серенсену) был достаточно высок (62% на 12 сут, 77% на 19, 92% на 26 сут). Начиная с 33 до 61 сут показатель снизился до 38% (ввиду снижения количества таксонов водорослей перифитона в варианте с гидрофитом). К концу исследования образовались разные доминирующие группы в сообществах контроля (синезеленые) и в варианте с *Stratiotes aloides* (диатомовые и зеленые). Очевидно, что *Stratiotes aloides* оказывает воздействие на формирование автотрофов в микроперифитоне, но, к сожалению, природа его не совсем ясна. Ранее, авторы указывали на ингибирующее влияние именно этого макрофита на развитие различных водорослей планктона, эпифитона, и предполагались как аллелопатические свойства, так и конкурентные отношения за пищу (Mulderij, 2009). Учитывая то, что в нашем исследовании в вариант с гидрофитом дважды вносились питательные вещества, остается констатировать аллелопатическое влияние *Stratiotes aloides* на формирование микроперифитонных сообществ. Возможно, развитие отдельных автотрофов в микроперифитоне связано с устойчивостью к действию выделений *Stratiotes aloides*. Данный факт ранее отмечался при исследовании влияния этого и других макрофитов на фитопланктон (Al-Shehri, 2010; Körner, 2002).

Таким образом, в ходе исследования выявлено, что *Stratiotes aloides* оказывает ингибирующее действие на развитие зеленых и синезеленых водорослей в фитоперифитоне, но не оказывает заметного влияния на развитие диатомовых.

Быкова С.Н., Борисовская Е.В., Виноградов Г.А. Влияние некоторых макрофитов и нитчатых зеленых водорослей на сукцессию микроперифитонных сообществ // Поволжский экологический журн. 2010. № 3. С. 241 – 253.

Быкова С.Н. Влияние *Ceratophyllum demersum* и *Utricularia vulgaris* на структурные показатели микроперифитонных сообществ в процессе их формирования // Вестник Тюменского гос. ун-ту. Экология. 2011. № 12. С. 123-131.

Быкова С.Н., Курбатова С.А., Ершов И.Ю. Микроперифитон и зоопланктон в экспериментальных экосистемах с гидрофитами // Биология внутренних вод. 2012. № 4. С. 53-60.

Al-Shehri A.M. Differential sensitivity of different *Scenedesmus obliquus* strains to the allelopathic activity of the macrophyte *Stratiotes aloides* // J. of Applied Sciences. 2010. № 10. P. 1769–1774.

Körner S. & Nicklisch A. Allelopathic growth inhibition of selected phytoplankton species by submerged macrophytes // J. of Phycology. 2002. № 38. P. 862–871.

Mulderij G., Mooij W.M. de Senerpont Domis, et al. Interaction between the macrophyte *Stratiotes aloides* and filamentous algae: does it indicate allelopathy? // Aquat Ecol. 2009. № 43. P. 305–312.

Mulderij G., Mooij W.M., Smolders A.J.P., Van Donk E. Allelopathic inhibition of phytoplankton by exudates from *Stratiotes aloides* // Aquatic Botany. 2005. V. 82, N4. P. 284–296.

В.С. Вишняков

**НАХОДКИ ВОШЕРИЙ (*VAUCHERIA*, *XANTHOPHYCEAE*) В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ
И ВЕРХНЕМ ПОВОЛЖЬЕ**

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, aeonium25@mail.ru

V.S. Vishnyakov

**NEW RECORDS OF VAUCHERIAS (*VAUCHERIA*, *XANTHOPHYCEAE*) IN SOUTH PRIBAIKALJE AND
UPPER POVOLJE**

I.D. Papanin Institute of Inland Water Biology RAS, Borok, Russia, aeonium25@mail.ru

Род *Vaucheria* относится к одной из малоисследованных групп желтозеленых водорослей на территории России в отношении видового разнообразия, географического распространения и экологии. Специальные исследования *Vaucheria* в Юж-

ном Прибайкалье и Верхнем Поволжье, охватывающие по возможности максимальное число местообитаний, ранее не проводились; в литературе можно найти немногочисленные указания лишь нескольких видов (Дорогостайский, 1904; Зауер, 177; Бочка, 2000; Бобров, Чемерис, 2007; и др.).

Сбор водорослей проводили в 2011–2014 гг. на юге Прибайкалья в бассейне верхнего течения р. Ангары (Иркутская обл., Бурятия) и бассейне Верхней Волги (Ярославская обл.) в пределах лесной и лесостепной зон. Всего идентифицированы 17 видов из 6 секций, что на текущий момент составляет почти 70% флоры вошерий России. Наиболее многочисленной является секция *Racemosae* (9 видов), затем выделяются секции *Vaucheria (Anomolae)*, *Corniculatae* и *Tubuligerae* (по 2 вида); секции *Woroninia* и *Heeringia* представлены 1 видом каждая. В Прибайкалье найдено 14 видов, в Верхнем Поволжье — 9 (без учета литературных данных), что объясняется разной продолжительностью и площадью исследований в этих регионах. Впервые на территории России обнаружены 6 видов: *V. alaskana* Blum, *V. uncinata* Kütz. (= *V. ar-rhyncha* Heidinger), *V. cruciata* (Vaucher) DC. — в Сибири; *V. orthocarpa* Reinsch, *V. undulata* Jao и *V. pseudogeminata* Dangeard — в европейской части.

К числу наиболее распространенных вошерий на юге Прибайкалья относятся *V. sessilis* (Vaucher) DC., *V. walzii* Rothert (= *V. racemosa* (Vaucher) DC.), *V. canalicularis* (L.) Christensen и *V. frigida* (Roth) C. Agardh (= *V. terrestris* (Vaucher) DC.), часто формирующие ценозы с высоким обилием в водоемах и водотоках разного типа, при этом виды *V. sessilis*, *V. canalicularis* и *V. frigida* нередко можно обнаружить на луговых пойменных почвах, примитивных почвах техногенных ландшафтов, по обсыхающим берегам и руслам водотоков, а также в низинных болотах. Виды *V. aversa* Hassall и *V. fontinalis* (L.) Christensen сравнительно редки и приурочены к небольшим, как правило, олиготрофным и холодноводным водотокам Прибайкалья. Менее многочисленны местонахождения и у видов *V. alaskana*, *V. cruciata*, *V. verticillata* Meneghini sensu Kütz. (= *V. taylorii* Blum), *V. geminata* (Vaucher) DC., *V. schleicheri* De Wildeman, *V. uncinata* и др. Виды *V. alaskana* и *V. cruciata* тяготеют к аэрофильным условиям, а последний таксон также проявляет слабую галофилию.

Среди вошерий на территории Верхнего Поволжья наибольшим распространением характеризуются *V. sessilis*, *V. prona* Christensen (= *V. hamata* (Vaucher) DC.), *V. frigida* и *V. canalicularis*. Локалитеты остальных видов, включая *V. geminata*, *V. walzii*, малочисленны. В отличие от Прибайкалья виды рода *Vaucheria* здесь чаще можно встретить в наземных биотопах, что объясняется меньшей континентальностью и большей гумидностью климата севера европейской части по сравнению с климатом юга Сибири. Так, было показано широкое распространение этих водорослей на лесных почвах, особенно по антропогенно нарушенным местам, а также на клумбах, грунтовых дорогах, тропках, в ливневых канавах. Виды *V. prona*, *V. undulata* и *V. pseudogeminata* обнаружены почти исключительно в наземных условиях.

В ходе исследований были обнаружены интересные с позиций систематики виды. Таксономически самостоятельны, по нашему мнению, популяции морфологически сходного с *V. frigida* таксона из Прибайкалья, характеризующиеся более крупными оогониями (180–215 x 122–167 мкм vs 102–145 x 85–110 мкм). Вид *V. orthocarpa*, обнаруженный в Поволжье, рядом исследователей долгое время рассматривался в качестве одной из форм политипического вида *V. sessilis* (см. подробнее: Зауер, 1977). Совокупность же ряда признаков у гаметангиев *V. orthocarpa* позволяет нам присоединиться к точке зрения о видовой самостоятельности этого таксона (Reinsch, 1887; Жилкина, 2008, 2011). Выделение форм у *V. sessilis* представляется нам малоперспективным. В отличие от мнения А. Рийта (Rieth, 1980) мы склонны отождествлять виды *V. verticillata* и *V. taylorii* на базе собранного в Сибири материала. Помимо этого, у нескольких видов нами отмечены недостаточно описанные в литературе морфологические особенности, например, ундуляции нитей (*V. alaskana*, *V. pseu-*

dogeminata, *V. walzii* и др.), вариации в ориентации гаметангиев и их размеров, пролификации, паразитозы и т. п.

В отношении географического распространения заслуживают внимания все виды, для которых впервые зарегистрированы местонахождения на территории России, а также ряд других, например, *V. verticillata*, *V. schleicheri*, *V. fontinalis*, *V. aversa*, *V. canalicularis*. Новые данные по этим видам позволяют значительно расширить их азиатские и европейские ареалы. Более широкое распространение продемонстрировано и для тривиальных таксонов – *V. prona*, *V. sessilis*, *V. walzii*, *V. frigida*.

На ряде местонахождений, которые посещались неоднократно в течение года, удалось проследить фенологические особенности популяций разных видов *Vaucheria*; при этом принимались во внимание вегетация стерильных нитей, половой процесс и все типы бесполого размножения (образование акинет, апланоспор и зооспор). Генеративный период у видов *Vaucheria* исследованных регионов длится с марта по ноябрь и полностью захватывает сроки вегетации. Максимум фертильности приходится на теплые летние месяцы. Апланоспорогенез является основным способом бесполого размножения вошерий в течение всего года, однако особенно массово апланоспоры образуют осенние популяции этих водорослей (*V. sessilis*, *V. walzii*, *V. canalicularis* и др.). К образованию зооспор и акинет способны не все найденные виды. Так, зооспорообразование хорошо выражено и преобладает только у вида *V. fontinalis*. Акинетами же часто размножается вид *V. frigida*.

В ходе исследований также были прослежены ценологические особенности водорослей рода *Vaucheria*. Альгруппировкам с участием вошерий свойственна эфемерность развития, обусловленная приуроченностью часто к временным типам биотопов. Как и многие другие макрофитные водоросли, вошерии предпочитают биотопы с низким ценотическим отбором. Экологическую стратегию этих водорослей в терминах системы Раменского-Грайма можно охарактеризовать как пациентно-эксплерентную. Очень часто вошерии выступают в качестве пионерных видов на местах с нарушенным растительным покровом в водных, прибрежно-водных и наземных местообитаниях. Большой интерес в связи с этим представляют ранее не описанные группировки вошерий, приуроченные к береговым зонам водохранилищ Верхнего Поволжья. Вегетация *Vaucheria* начинается на их берегах уже с ранней весны (март) и продолжается до поздней осени (ноябрь). Вклад этих водорослей в продукционные процессы таких специфических элементов экосистем водохранилищ до сих пор остается неисследованным. Проведенные исследования позволили существенно дополнить сведения по разнообразию и экологии водорослей рода *Vaucheria* двух обширных географических регионов и свидетельствуют о необходимости продолжения изучения этого рода на территории России.

В.С. Вишняков¹, М.С. Куликовский¹, Н.И. Дорофеук², С.И. Генкал¹
ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, aeonium25@mail.ru

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, г. Москва, Россия,
nadin-home@mail.ru

V.S. Vishnyakov¹, M.S. Kulikovskiy¹, N.I. Dorofeuk², S.I. Genkal¹
DIATOMS FROM LAKES OF NW MONGOLIA

¹ I.D. Papanin Institute of Inland Water Biology RAS, Borok, Russia, aeonium25@mail.ru

² A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia, nadin-home@mail.ru

Сведения по диатомовым водорослям водоемов Западной Монголии опубликованы в ряде работ (обобщены: Dorofeuk, Kulikovskiy, 2012). Однако они не могут рассматриваться как полные и исчерпывающие, поэтому исследования диатомовой флоры этой территории, характеризующейся большим разнообразием озер различной степени минерализации, морфометрии, возраста, положения над у.м., до сих

пор остаются актуальными. Материалом наших исследований стали рецентные и фосильные сборы по озерам Котловины Больших Озер, Хангайского нагорья, Убсунурской котловины, Прихубсугуля и Монгольского Алтая из коллекций ИПЭЭ (Москва) и ИБВВ (Борок). Исследованные озера сформировались в аридных или семиаридных условиях, характерных для Центральной Азии.

Исследованиями в СМ и СЭМ была выявлена богатая флора диатомовых водорослей. Для озер разной степени трофности и минерализации выявлены характерные видовые комплексы. Флоры крупных пресных озер очень богаты и объединяют виды из многих родов диатомовых. Нередко с высоким обилием здесь отмечаются виды *Navicula s.s.*, *Aneumastus*, *Amphora*, *Caloneis*, *Sellaphora*, *Stauroneis*, *Eunotia*, *Tetracyclus*, *Cyclotella* (реже - *Khursevichia*, *Hannaea*) и многие другие, включая мелкие ставрозиридные формы. Особенностью диатомовых комплексов минерализованных озер является высокое обилие видов из родов *Craticula*, *Anomoeoneis*, *Mastogloia*, *Navicymbula*, *Halamphora*, *Scoliopleura* и некоторых других. В результате исследований получен ценный материал с таксономических и фитогеографических позиций. Ожидается ревизия родов *Anomoeoneis*, *Caloneis*, *Hannaea*, *Epithemia* и некоторых других с описанием ряда новых для науки таксонов.

Л.Н. Волошко

ТАКСОНОМИЯ СТОМАТОЦИСТ И ИХ РОЛЬ В ИЗУЧЕНИИ ХРИЗОФИТОВЫХ

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, l.voloshko@inbox.ru

L.N. Voloshko

STOMATOCYST TAXONOMY AND ITS ROLE IN THE STUDY OF CHRYSOPHYTES

Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia, l.voloshko@inbox.ru

Облигатной и характерной стадией жизненного цикла золотистых из кл. Chrysophyceae и кл. Synurophyceae является покоящая стадия в виде кремниевой стоматоцисты (статоспоры). Эта стадия была впервые открыта Л. Ценковским (Cienkowski, 1870) и изучена в деталях Scherffel (1911) и Doflein (1922, 1923). Ультраструктура цист была подробно описана Hibberd (1977), Sandgren (1980), Taylor (1997). Образование цист связано как с бесполом, так и с половым размножением, но процесс формирования один и тот же. Своеобразие процесса их формирования в том, что оболочка развивается не вокруг протопласта (как у других водорослей), а закладывается внутри него (эндогенно). Кремниевая оболочка цист образуется внутри везикулы (SDV), мембрана которой (силиколлема) возникает за счет слияния везикул Гольджи. Протопласт клетки пространственно разрезается на интрацистерную (внутреннюю) и (экстрацистерную) наружную часть. Экстрацистерная плазма в большей своей части переходит в эндогенно формирующуюся цисту, после чего циста закупоривается пробочкой или крышечкой, а оставшаяся экстрацистерная плазма разрушается. Процесс созревания цист сопровождается возрастанием электронной плотности всего содержимого цисты, накоплением липидных гранул. Во многих случаях края поры вытягиваются в виде трубочки или расширяются в виде воронки.

Первичная стенка цисты обычно тонкая и неорнаментированная, морфологически сходная у многих видов (Sandgren, 1989). На ранних стадиях развития стоматоцисты у одних и тех же видов могут морфологически значительно отличаться от зрелых цист. Оболочка зрелой цисты обычно сильно окремневшая, окремнение пробочки значительно меньше, а иногда отсутствует. Кремниевые стоматоцисты могут иметь структуры: выросты и шипы на поверхности, воротничок вокруг входного отверстия (поры), пора может закрываться кремниевой пробкой. Генетические вариации и некоторые факторы среды могут вызывать некоторые вариации внутри морфотипа (Sandgren, Smol, 1991), хотя и без изменения основных признаков. Формиро-

вание и созревание цист было описано Sandgren (1983, 1989, 1991). Стоматоцисты могут производиться при бесполом и половом (автогамном или гологамном) размножении. При этом они морфологически совершенно идентичны. Факторы, способствующие переходу клеток хризофитовых к инцистированию мало изучены. У *Dinobryon* (Sandgren, Carney, 1983) и *Mallomonas teilingii* (Kristiansen, 1989) цисты часто находят в конце вегетационного периода и после весеннего максимума. У *Synura* цисты встречаются в течение всего вегетационного периода. Инцистирование часто связано с изменениями химических или физических факторов среды. Известны случаи, когда в озерах интенсивное инцистирование золотистых происходило весной (Agbeti, Smol, 1995). После созревания циста опускается на дно и остается в состоянии покоя в течение более или менее длительного периода. При прорастании пробочки растворяются и протопласт стоматоцисты выходит обычно в виде монады, снабженной жгутиками, реже в виде безжгутиковой амебы. У *Mallomonas* клетки сразу начинают производить чешуйки (Harris, 1953).

Видовая идентификация цист до настоящего времени все еще затруднена. У большинства стоматоцист определяется только их принадлежность к тому или иному морфотипу (Duff et al., 1995). Так, из 172 видов и внутривидовых таксонов *Mallomonas* к настоящему времени идентифицированы стоматоцисты только 32 видов с использованием СЭМ. Стоматоцисты некоторых видов были описаны по структуре чешуек, сохранившихся на их поверхности на последней стадии цистообразования (Kristiansen, 2001 b). Для достоверной видовой идентификации стоматоцист особенно перспективно изучение полных жизненных циклов этих водорослей в культуре.

Для стоматоцист, видовую принадлежность которых невозможно определить, было предложено несколько таксономических схем. Самые ранние схемы строились согласно Линнею по биномиальной системе (Deflandre, 1936; Nygaard, 1956). Система, предложенная Deflandre (1936), была первой, которая стала использоваться другими специалистами, в том числе и палентологами (Franguelli, 1936; Srivastava, Binda, 1984; Rull, 1986 и др.). Все цисты золотистых водорослей по форме и структуре клеточной стенки были разделены им на 16 искусственных родов (Deflandre, 1952), входящих в 3 группы: Chrysomonadinea (семейство идентифицированных цист современных видов), Archaeomonadaceae (искусственное семейство неидентифицированных цист из морских осадков) и Chrysostomataseae (искусственное семейство неидентифицированных цист из пресных водоемов: современных видов или из осадочных пород).

В 1956 г. Nygaard предложил использовать для неидентифицированных цист термин *cysta* для названия рода, который следовал за наименованием описываемого морфотипа. По этой системе он описал (СМ) и дал название 77 морфотипам из осадков пресноводного озера в Дании. Эта система была подхвачена многими специалистами (Leventhal, 1970; Carney, Sandgren, 1983; Rybak, 1986 и др.). В начале 1980-х гг. сотрудниками геологической службы США (Adam, 1980 a, b; 1981; Adam, Mahood, 1979, 1980, 1981 и др.) были опубликованы ЭМ фотографии около 300 морфотипов цист (без описаний). В 1986 г. Международная рабочая группа по статоспорам (ISWG) признала недопустимым существование различных таксонов для 2 стадий жизненного цикла (вегетативной клетки и цисты) одних и тех же видов. По поручению ISWG Cronberg, Sandgren (1986) разработали альтернативную систему, в которой цистам даются только номера и описывается морфотип цисты. К описанию прилагаются микрофотографии стоматоцисты (СЭМ) и включаются доступные географические и экологические сведения. Принадлежность стоматоцисты к тому или иному виду указывается, если точное название достоверно известно. Эта система в настоящее время является стандартной и используется при описании стоматоцист. Из публикаций, рекомендованных ISWG для идентификации стоматоцист, могут быть использованы работы Sandgren, Carney (1983), Rybak (1987), Rybak et al. (1991)

Duff, Smol (1988, 1989, 1991, 1992, 1994), Zeeb et al. (1990, 1994), Carney et al. (1992), Duff et al. (1995), Hansen (2001), Wilkinson et al. (2001), А. Фирсова, Е. Лихошвай (2006), А. Фирсова (2008) и др.

В идентификационной системе Duff et al. (1995) и Wilkinson et al. (2001) все стоматоцисты по морфологическим признакам разделяются на 2 большие группы: 1) неорнаментированные цисты и (2) орнаментированные цисты, каждая из которых подразделяется на несколько подгрупп в зависимости от формы, строения воротничка и различных выростов на ее поверхности. Так как стоматоцисты золотистых водорослей хорошо сохраняются в осадочных породах Nugaard (1956) впервые предложил использовать их в качестве палеоиндикаторов. При изучении постледниковых озер Канады, что в фазе эвтрофикации водоема относительное количество стоматоцист заметно уменьшается, а относительное количество диатомовых растет. Поскольку при изменении соотношения численности панцирей диатомовых (Д) и цист золотистых (Ц) коррелировало с его трофической историей, было предложено использовать коэффициент Д/Ц в качестве палеолимнологического индекса трофического статуса озер (Smol, 1985)/

На Северо-Западе России согласно системе ISWG нами идентифицированы 23 неорнаментированные и орнаментированные стоматоцисты, из которых 12 определены до вида (*Chrysosphaerella longispina*, *Ochromonas globosa* *O. magnifica* *Spiniferomonas bourrellyi*, *S. trioralis*, *Mallomonas acaroides*, *M. akrokomos*, *M. caudata*, *M. crassisquama*, *M. areolata*, *M. hamata* / *M. heterospina* и *M. variabilis*) и у 11 цист определен морфотип. Для каждой стоматоцисты приводятся: описание морфологии, микрофотографии (СЭМ) и доступные географические и экологические сведения. Эти данные могут служить дополнительным критерием оценки таксономического разнообразия золотистых водорослей в пресных водоемах.

Г.М. Воскобойников

АЛЬГОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЕЙ РУССКОЙ АРКТИКИ

Мурманский морской биологический институт Кольского НЦ РАН, г. Мурманск, Россия, grvosk@mail.ru

G.M. Voskoboinikov

ALGOLGY STUDIES OF THE ARCTIC SEAS OF RUSSIA

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia, grvosk@mail.ru

В изучении макрофитов арктических морей можно выделить следующие направления: 1) флористика, 2) распределение и запасы 3) биохимические, морфологические, физиологические и цитологические исследования, направленные на раскрытие механизмов адаптации, регуляции роста, размножения, определения биогеографических границ; 4) плантационное выращивание, в том числе санитарная аквакультура 5) рациональное использование водорослей. Эти направления выделяют весьма условно, так как зачастую они дополняют друг друга.

К началу XX века было опубликовано несколько флористических исследований водорослей северных морей: Хр.Я. Гоби (1878) "Водоросли Белого моря и прилегающих к нему частей Северного Ледовитого океана" и К. Чельмана "Водоросли Арктики" (Kjellman, 1883. Важным этапом во флористических исследованиях явился уникальный двухтомный труд Е.С. Зиновой "Водоросли Мурмана" (1912-1914). Наиболее разнообразным по видовому составу является Мурманское побережье. А.Д. Зиновой (1962) было определено на Мурманском побережье Баренцева моря 194 вида макрофитов, из них 39 зеленых, 80 бурых и 75 видов красных водорослей.

При движении от Мурманского побережья на север и северо-восток Баренцева моря и на юг к Белому морю идет обеднение видового состава, прежде всего за счет выпадения бореальных форм, а также наблюдается опускание литоральных форм в сублиторальную зону. Флора водорослей архипелага Шпицберген насчитывает 142

вида, включая 37 видов зеленых, 53 бурых и 51 вид красных водорослей. Для флоры водорослей архипелага Земля Франца Иосифа известно 63 вида, из них 18 зеленых, 25 бурых и 30 красных. По систематическому составу флора водорослей Баренцева моря представляет собой обедненную флору Северной Атлантики. Эндемичных родов и видов здесь нет. В пределах Баренцева моря выделяется две фитогеографические зоны: бореальная и арктическая. Фитогеографическая граница между зонами проходит от мыса Святой Нос на северо-запад к Шпицбергену. Мурманское побережье Баренцева моря входит в состав высокобореальной подзоны. Юго-восточное побережье Баренцева моря и северные архипелаги – Шпицберген, Земля Франца Иосифа, Новая Земля относятся к арктической зоне. По фитогеографическому составу флора водорослей Баренцева моря является высокобореальной. (Тиховская, 1948; Виноградова, 1974, 1984; Зинова, 1974; Ефимова, 1990, 1995; Vinogradova, 1995; Кузнецов, Шошина, 2003; Блинова, 2007).

В Баренцевом море основную биомассу составляют ламинариевые и фукусовые водоросли, которые являются и главным промысловым объектом. Промысловые запасы ламинариевых водорослей Баренцева моря оцениваются в 415 тыс. Средняя биомасса ламинариевых составляет 10 кг/м^2 , а ширина зарослей обычно не превышает 10–50 м, в отдельных районах биомасса достигает $25\text{--}30 \text{ кг/м}^2$, а ширина зарослей 1 км (Джус, 1984; Сорокин, Пельтихина, 1991; Макаров и др., 1993; Блинова, 2007)

В процессе онтогенеза макрофиты Баренцева моря испытывают воздействие широкого спектра океанологических факторов. Параллельно с изменениями под влиянием факторов внешней среды в растительном организме происходят и онтогенетические перестройки. В результате натуральных и лабораторных экспериментов, преимущественно выполненных на биостанции ММБИ КНЦ РАН в Дальних Зеленцах, были получены следующие данные. 1) Для водорослей Мурмана характерно снижение интенсивности ростовых процессов от весны к осени и зиме. Сезонный рост слоевища водорослей контролируется эндогенным циркагодовым ритмом, который синхронизирован с циклами ведущих геофизических факторов, свойственных данной географической широте и климатическим условиям региона. Показано наличие среди макрофитов «видов-реагентов» к которым относятся однолетние виды и сеголетние растения многолетних видов, - их рост во многом зависит от условий среды и «видов-прогностиков», являющихся многолетними. Они заблаговременно готовятся к сезону роста и относительно независимы от факторов среды. 2) Период интенсивного роста водорослей начинается в феврале – марте с увеличением фотопериода, когда температура воды имеет самый низкий среднегодовой показатель ($-0,5 - -1,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), что обусловлено компенсаторной ролью фотопериода в регуляции роста макрофитов. 3) На Мурманском побережье, на побережье Грен-фьорда (архипелаг Шпицберген) возможность существования водорослей в период полярной ночи обеспечивается адаптацией фотосинтетического аппарата к низкому уровню освещения. Для водорослей более высоких широт переживание периода отсутствия освещения осуществляется за счет потребления запасных веществ, продуктов автолиза таллома и внешних растворенных органических веществ. 4) Построен ряд холодоустойчивости фукусовых водорослей: *Fucus vesiculosus* > *F. distichus* > *F. serratus*, который совпадает с вертикальным расположением водорослей на литорали. 5) Уровень природной ультрафиолетовой радиации на побережье Баренцева моря, имеется в виду УФ-Б (320-360 нм), подавляет рост многих водорослей. Показана способность высоких доз УФ-Б стимулировать у ламинариевых водорослей выход спор через разрушение парафиз и подавлять развитие эмбриоспор, гаметофитов, молодых спорофитов. 6) Выявлено значение «приливных окон» в адаптации фукусовых водорослей в зонах опреснения. 7) Описана роль гидродинамического фактора в перестройках макрофитов на разных уровнях организации: от клеточного до попу-

ляционного (Кузнецов, Шошина, 2003; Рыжик, 2005; Воскобойников, 2006; Малавенда, 2007; Макаров, 2012).

Данные о морфофизиологических особенностях ламинариевых водорослей легли в основу биотехнологии аквакультуры в Баренцевом море, внедрение которой позволило вырастить урожай на плантации около 60 тонн/гектара. Выявленная высокая степень устойчивости представителя фукусовых: *Fucus vesiculosus* к комплексу абиотических факторов внешней среды, в том числе толерантность к нефтяному загрязнению, способность образовывать устойчивые симбиотические связи с углеродородокисляющими микроорганизмами, не только аккумулировать нефтепродукты на поверхности таллома, а поглощать, включать их в метаболизм позволили создать технологию «Санитарная водорослевая плантация» (Воскобойников и др., 2005; Блинова, 2007; Воскобойников, Макаров, 2012, 2013)

Исследования биологически активных веществ позволили выяснить сезонные изменения содержания маннита, альгината, фукоидана, липидов и пигментного комплекса у ламинариевых и фукусовых водорослей, распределение по таллому, наметить наиболее перспективные пути и технологии использования (Облучинская, Воскобойников, 2005).

Е.Ю. Воякина, Е.Н. Чернова, Я.В. Русских, З.А. Жаковская
МЕТАБОЛИТЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,
Г. Санкт-Петербург, Россия, katerina.voyakina@gmail.com
E. Yu. Voyakina, E.N. Chernova, Ya.V. Russkikh, Z.A. Zhakovskaya
METABOLITES OF CYANOBACTERIA IN DIFFERENT WATER BODIES IN SAINT-PETERSBURG
Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety RAS,
St. Petesburg, Russia, katerina.voyakina@gmail.com

При современном состоянии водных экосистем «цветение» (т.е. активная вегетация одного или нескольких видов водорослей) водоемов становится все более частым явлением. Проблема вредоносного цветения водорослей давно уже стала актуальной для водоемов Северо–Запада России. До недавнего времени информация по цианотоксинам и видовому составу цианобактерий (синезеленых водорослей) для водоемов Европейской части РФ практически отсутствовала. В течение 2008–2013 гг. в НИЦЭБ РАН были получены данные о составе и концентрациях цианотоксинов в ряде водоемов г. Санкт-Петербурга и прибрежной зоне Восточной части Финского залива (Жаковская и др., 2010; Воякина и др., 2011).

В работе проанализирован материал, полученный с июня по октябрь 2011–2013 гг. на водоемах г. Санкт-Петербурга со значительной рекреационной нагрузкой: оз. Сестрорецкий Разлив и оз. Нижнее Суздальское. Для идентификации и количественного определения цианотоксинов использовали комплексный метод жидкостной хроматографии - тандемной масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре LTQ Orbitrap с линейной и орбитальной ловушками с режимом электроспрей - ионизации (ESI+) (Русских и др., 2012).

В составе альгофлоры исследованных озер было обнаружено 138 таксонов рангом ниже рода, относящихся к 9 отделам. По числу видов преобладали зеленые (40%), синезеленые (18%), эвгленовые (13%) и диатомовые (11%) водоросли. Среди зеленых наибольшим видовым богатством отличались хлорококковые водоросли. В озерах доминировали токсигенные виды цианобактерий (*Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flah., виды рода *Microcystis* Kütz. ex Lemm., *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom.). В озерах в летний период наблюдалась активная вегетация фитопланктона, особенно цианобактерий. Показатели обилия фитопланктона были высокие.

За период исследования в оз. Сестрорецкий Разлив численность фитопланктона варьировала от 7.5 до 849.6 млн кл./л (среднее значение 169.2 млн кл./л), биомасса изменялась от 2.6 до 188.8 мг/л (среднее 24.2 мг/л). Максимальные значения численности и биомассы фитопланктона и, особенно, синезеленых водорослей были отмечены в июне 2013 г. В сезонной динамике фитопланктона обычно наблюдался один (летний) или два (летний и осенний) пика вегетации.

В 2011 г. максимальные концентрации микроцистинов (MC-LR и MC-RR) были отмечены в середине июля (0.34 мкг/л). Анатоксин-а не был обнаружен. По-видимому, это было связано с монодоминированием в планктоне видов рода *Microcystis*, продуцирующих различные микроцистины. В 2012 г. в воде максимальная суммарная концентрация микроцистинов была отмечена в середине июня (1.2 мкг/л), а в биомассе цианобактерий – в начале августа (2.3 мг/г сухого веса). В 2012 г. здесь были отмечены максимальные концентрации MC-LR, MC-RR, MC-YR и анабаенопептинов как в воде, так и в биомассе цианобактерий. За сезон 2013 г. максимальная концентрация микроцистинов была отмечена в июне (0.9 мкг/л). В этот период в планктоне доминировали виды синезеленых водорослей, на их долю приходилось 97% от общей биомассы. Монодоминантом был вид *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flah.

В оз. Нижнее Суздальское численность фитопланктона варьировала от 5.9 до 438.6 млн кл./л (среднее значение было 149.5 млн кл./л), биомасса – от 6.2 до 1112.6 мг/л (среднее значение – 91.2 мг/л). В 2011 – 2012 гг. здесь наблюдалась активная вегетация цианобактерий. Большую часть сезона в планктоне доминировали потенциально токсичные виды цианобактерий – *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flah и *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom. В течение сезона 2011 г. в воде постоянно отмечалось присутствие анатоксина-а. Максимальные концентрации (0.2 – 0.3 мкг/л) были зафиксированы в середине июля и начале августа и напрямую были связаны с активной вегетацией в планктоне цианобактерий. В 2012 г. высокие значения микроцистинов были характерны для конца июня – начала июля (0.6–0.7 мкг/л). Анатоксин-а, до этого постоянно присутствовавший в воде оз. Нижнее Суздальское, в 2012 г. был обнаружен только однажды в конце июля в незначительных количествах (0.01 мкг/л). В 2013 г., несмотря на то, что по численности доминировали цианобактерии, на их долю приходилось от 50 до 96%, основную биомассу (78–98%) создавали динофитовые водоросли. В состав доминантов входили *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flah., виды рода *Microcystis* Kütz ex Lemm. и *Ceratium hirundinella* (O.F. Müll.) Bergh. Концентрация микроцистинов была ниже, чем в предыдущие годы (0.1–0.4 мкг/л).

В 2013 г. в пробах воды в озерах Сестрорецкий Разлив и Нижнее Суздальское практически не было зафиксировано присутствие деметилированных форм микроцистинов. В тоже время в предыдущие годы исследования в пробах воды и биомассы в этих водоемах наблюдались значительные концентрации этих метаболитов. Кроме того, в этих водоемах в течение сезона 2013 г. постоянно присутствовал микроцистин-LW (MC-LW). За последние годы в оз. Сестрорецкий Разлив резко изменился состав доминирующих видов и, как следствие, произошли изменения в спектре метаболитов цианобактерий.

В исследованных водоемах были обнаружены нейротоксины (анатоксин-а), гепатотоксины (микроцистины) и другие метаболиты (анабаенопептины и азрогеноза A126). Впервые были обнаружены анабаенопептины и деметилированные формы микроцистинов в природной воде и биомассе цианобактерий в озерах г. Санкт-Петербурга.

Жаковская З.А., Воякина Е.Ю., Русских Я.В и др. Динамика фитопланктона и цианотоксинов акваторий Балтийского региона, подверженных антропогенному эвтрофированию // Сб. матер. XI Международ. экологического форума «День Балтийского моря», СПб. 2010. С. 160–161.

Воякина Е.Ю., Жаковская З.А., Мильман Б.Л. и др. Сезонная динамика фитопланктона и цианотоксинов, определяемых методом жидкостной хроматографии - tandemной масс-спектрометрии высокого разрешения в оз. Сестрорецкий Разлив (2008 г.) // Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 270–274.

Русских Я.В., Чернова Е.Н., Воякина Е.Ю. и др. Определение цианотоксинов в водной матрице методом высокоэффективной жидкостной хроматографии – масс-спектрометрии высокого разрешения // Изв. Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического ун-та), 2012. №17. С. 61–66.

И.А. Гайнутдинов¹, Ш.Р. Абдуллин²
ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРΟΣЛЕЙ
В ПРИВХОДОВОЙ ШАХТЕ ПЕЩЕРЫ КУТУК-СУМГАН

¹ Государственный природный заповедник «Шульган-Таш», Республика Башкортостан, Россия,
i.gainutdinov@shulgan-tash.ru

² Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия, abdullinshrsu@mail.ru

I.A. Gainutdinov¹, Sh.R. Abdullin²
EFFECT OF ILLUMINATION ON CYANOBACTERIAE AND ALGAE DISTRIBUTION
IN THE ENTRANCE SHAFT OF KUTUK-SUMGAN CAVE

¹ Shulgan-Tash State Nature Reserve, The Republic of Bashkortostan, Russia,
i.gainutdinov@shulgan-tash.ru

² Bashkir State University, Ufa, Russia, abdullinshrsu@mail.ru

Фототрофия – основной способ питания цианобактерий и водорослей, хотя некоторые из них способны переходить и на гетеротрофный тип питания. Поэтому свет является одним из основных абиотических факторов, влияющих на развитие этих организмов. В зависимости от уровня освещения в пещерах выделяют освещенную и темную зоны (Абдуллин, 2012). Цель данной работы – изучение закономерностей изменения таксономического состава цианобактерий и водорослей в привходовой шахте пещеры Кутук-Сумган в зависимости от уровня освещенности.

Пещера Кутук-Сумган расположена на западном склоне хребта Кибиз, в междуречье рек Белая и Нугуш, у слияния суходолов Сумган и Кутук. Протяженность пещеры 9860 м, амплитуда 134 м. Полость представляет собой лабиринт с горизонтальными и наклонными галереями, расположенными на 3-х ярусах, соединенных колодцами. (Мартин и др., 1993). Входная шахта пещеры имеет глубину 75 м и ширину 20 м. На дне первого колодца начинается спуск в колодец Голубиный глубиной 35 м, который ведет в нижний ярус системы.

Материалом для исследований послужили 8 проб грунта, мазков и соскобов со стен из привходовой шахты пещеры, отобранных 19 августа 2011 г. В точках отбора проб проводилось измерение освещенности. Отбор проб и выявление цианобактерий и водорослей проводились стандартными методами. Для анализа использовали методы сравнительной флористики (Кузяхметов, Дубовик, 2001).

В результате анализа собранного материала было обнаружено 25 видов и внутривидовых таксонов цианобактерий и водорослей, относящихся к 3 отделам, 8 порядкам, 13 семействам и 17 родам. Доминировали представители отдела Cyanoprokaryota, порядка Oscillatoriales, семейств Phormidiaceae и Chlorellaceae, рода *Phormidium*; по сумме баллов обилия преобладал вид *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Kom. (29 баллов). Наиболее часто встречались виды *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Kom. (F = 87,5%) и *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Puni (F = 62,5%). Спектр жизненных форм: P₇Ch₄V₃CF₃hydr₃PF₂C₁X₁.

Выявлена смена таксономического состава цианобактерий и водорослей в зависимости от глубины шахты и связанного с ней уровня освещенности – вертикальная световая поясность. Для выполнения анализа вдоль градиента освещенности было выделено 4 зоны. Ранее в пещере Шульган-Таш была описана сходная закономерность – горизонтальная световая поясность (Абдуллин, 2011).

Зона 1 расположена от уровня входа до глубины 15 м, средняя освещенность 100 лк, фототрофная биота представлена цветковыми растениями, папоротниками, мхами, цианобактериями и водорослями. Выявлено 16 видов цианобактерий и водорослей из отделов *Cyanoprokaryota*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, 8 порядков, 12 семейств и 15 родов. Доминировал по баллам обилия (11 баллов) и наиболее часто встречался (100%) вид *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Kom. Только в этой зоне встречены виды *Cyanothece aeruginosa* (Ndg.) Kom., *Leptolyngbya gracillima* (Zopf. ex Hansg.) Anagn. et Kom., *Phormidium Retzii* Gom., *Tolypothrix distorta* Kütz. ex Born. et Flah., *Planothidium lanceolata* (Brüb. in Kütz.) Round et Bukht., *Luticola mutica* (Kütz.) Mann, *Sellaphora pupula* (Kütz.) Mann и *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm. Спектр жизненных форм: $Ch_4B_3hydr_3P_3CF_1PF_1X_1$.

Зона 2 находится на глубине от 15 до 25 м от уровня входа, средняя освещенность 60 лк, исчезают цветковые растения и папоротники. Выявлено 9 видов цианобактерий и водорослей из отделов *Cyanoprokaryota* и *Chlorophyta*, 4 порядков, 6 семейств и 6 родов. Представители отдела *Bacillariophyta* выпадают из сообщества. Отдел *Chlorophyta* представлен только одним видом (*Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punc). По баллам обилия доминировали виды *Nostoc kihlmani* Lemm. (9 баллов) и *Leptolyngbya hollerbachiana* (Elenk.) Anagn. et Kom. (7 баллов). Наиболее часто встречались виды *Nostoc kihlmani* Lemm. и *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punc. (по 100%). Только в этой зоне встречены виды *Phormidium ambiguum* Gom., *Phormidium pavlovskoense* Gom., *Phormidium tenue* (Menegh.) Gom. и *Calothrix elenkinii* Koss. Спектр жизненных форм: $P_5C_1Ch_1CF_1PF_1$.

Зона 3 – на глубине 25-75 м от уровня входа (до дна входной шахты), средняя освещенность от 58 до 33 лк, пропадают мхи. Стены покрыты разрастаниями цианобактерий и водорослей. Обнаружено 7 видов цианобактерий и водорослей из отделов *Cyanoprokaryota* и *Chlorophyta*, 4 порядков, 4 семейств и 7 родов. Представители отдела *Bacillariophyta* отсутствуют. Число видов *Cyanoprokaryota* упало до 2, *Chlorophyta* – увеличилось до 5. Доминировал по баллам обилия (8 баллов) и наиболее часто встречался (100%) вид *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Kom. Только в этой зоне встречен вид *Nostoc paludosum* (Kütz.) Elenk. Спектр жизненных форм: $Ch_3CF_1hydr_1P_1X_1$.

Зона 4 расположена на глубине 75-110 м от уровня входа («Голубиный колодец» - ответвление на дне входной шахты), средняя освещенность от 5 до 0,75 лк, исчезают видимые разрастания цианобактерий и водорослей. Обнаружено 6 видов цианобактерий и водорослей из отделов *Cyanoprokaryota*, *Bacillariophyta* и *Chlorophyta*, 4 порядков, 4 семейств и 6 родов. Появился 1 представитель *Bacillariophyta* – *Navicula minima* Grun. Доминировал по баллам обилия (6 баллов) и наиболее часто встречался (100%) вид *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Kom., Спектр жизненных форм: $Ch_2B_1CF_1hydr_1P_1$.

Таким образом, наибольшее число видов цианобактерий и водорослей выявлено на границе зон 1 и 2. Это связано с тем, что данный участок является экотонном между сообществами более темной пещерной и более освещенной привходовой зон. Вид *Nostoc kihlmani* Lemm., встреченный среди доминантов зоны 1 и 2, не встречался в двух нижних зонах. Вид *Muriella terrestris* Boye-Pet встречен в самой верхней и самой нижней зонах и не встречается во 2 и 3 зонах. Также в двух средних зонах не встречено ни одного представителя отдела *Bacillariophyta*. Виды *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Kom. и *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punc являются сквозными для всех 4 зон.

Абдуллин Ш.Р. Влияние освещенности на распределение фототрофных организмов в привходовой части пещеры Шульган Таш // Экология. 2011. № 3. С. 226–228.

Абдуллин Ш. Р. Цианобактерии и водоросли пещеры Левобережная (Ленинградская область) // Ботан. журн. 2012. Т. 97. № 8. С. 1040-1051.

Кузяхметов Г. Г., Дубовик И. Е. Методы изучения почвенных водорослей. Уфа, 2001. 56 с.
Мартин В.И., Смирнов А.И., Соколов Ю.В. Пещеры Башкирии // Пещеры. Итоги исследований. Пермь, 1993. С. 30-59.

Л.А.Гайсина
ИЗУЧЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАЗЕМНЫХ ВОДОРосЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ
БОРЕАЛЬНО-ЛЕСНОЙ ЗОНЫ БАШКИРИИ

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия,
lira.gaisina@mail.ru

L.A. Gaysina
STUDY OF BIODIVERSITY OF TERRESTRIAL ALGAE AND CYANOBACTERIA IN BOREAL
FOREST ZONE OF BASHKIRIA

M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia, lira.gaisina@mail.ru

Несмотря на большое число работ, посвященных изучению альгофлоры Республики Башкортостан (Минибаев и др., 1982; Кузяхметов, 1986, 2006; Кабиров, Суханова, 1996; Дубовик, 2000, 2007; Кабиров, Хайбуллина, 2005; Шарипова, 2005, 2007; Абдуллин, 2009, 2011), наземные водоросли бореально-лесной зоны Башкирии исследованы далеко не в полной мере, что особенно актуально для района Павловского водохранилища. Имеется ряд работ о фитопланктоне этого водоема (Полева, Шкундина, 2011), однако почвенная альгофлора территории, прилегающей к водохранилищу, практически не изучена. Материалом послужили 17 смешанных почвенных проб: 14 проб были отобраны в Нуримановском районе в окрестностях поселка Павловка в мае 2010 г., 3 пробы - в Белорецком районе в июле 2011 г. В работе использовали культуральные и морфологические методы исследования (Голлербах, Штина, 1969). Для идентификации ряда штаммов применяли приемы молекулярно-генетического анализа.

При проведении исследований обнаружено 85 видов водорослей и цианобактерий: Cyanobacteria – 36, Chlorophyta – 30 (Chlorophyceae – 23, Trebouxiophyceae – 5, Ulvophyceae – 2), Bacillariophyceae – 11, Streptophyta – 6, Xanthophyceae – 1, Eustigmatophyceae – 1 вид. Основной особенностью флоры изученной территории было высокое видовое разнообразие цианобактерий. Наиболее часто встречались представители родов *Phormidium* (11), *Leptolyngbya* (7) и *Nostoc* (6 видов). Наряду с широко распространенными видами *Leptolyngbya foveolarum*, *L. voronichiniana*, *Microcoleus vaginatus*, *Nostoc cf. punctiforme*, *Phormidium autumnale*, *P. breve*, были обнаружены и редкие, например, *Hormoscilla pringsheimii* и *Chlorogloeopsis cf. fritschii*.

В составе зеленых водорослей преобладали формы, образующие слизь (представители рода *Chlamydomonas*, *Chlamydocapsa lobata*, *Palmellopsis gelatinosa*), виды семейства Scenedesmaceae (*Scenedesmus bijugatus*, *Coelastrella terrestris*, *Scotiellopsis rubescens*) и одноклеточные шаровидные водоросли (представители родов *Bracteacoccus* и *Chlorella*). Диатомовые водоросли были представлены в основном широко распространенными *Hantzschia abundans*, *H. amphioxys*, *H. amphioxys f. capitata*, *Luticola mutica*, *L. ventricosa*, *Pinnularia borealis*. В пробах почвы, отобранных во влажных местообитаниях, были обнаружены гидрофильные виды *Aphanothese stagnina*, *Calothrix cf. elenkinii*, *Phormidium aerugineo-caeruleum*, *Cylindrocystis cf. brebissonii*, виды родов *Cosmarium* и *Actinotaenium*.

При изучении альгофлоры зоны было выделено 7 штаммов, по морфологическим признакам отнесенных к роду *Scotiellopsis*. Последовательность участка ITS длиной 622 пн штамма P13 *Scotiellopsis* sp., выделенного из поймы р. Салдыбаш, имела 99% сходство с последовательностями штаммов Itas 6/3 T-10W *Desmodesmus armatus* var. *subalternans* и Pic 8/18 *Desmodesmus armatus* var. *subalternans*. Эти штаммы были выделены из пресноводных местообитаний в Национальном парке Итаска (Itasca State Park) (Миннесота, США). Высокая степень сходства последовательностей ITS этих штаммов, выделенных из географически отдаленных террито-

рий, является свидетельством широкого распространения *Desmodesmus armatus* var. *subalternans* по всему миру. По результатам анализа участка ITS2 других штаммов *Scotiellopsis* их родовая принадлежность была подтверждена, однако было установлено, что они представляют четыре разные филогенетические линии, одна из которых относилась к виду *Coelastrella terrestris* (H. Reising) E. Hegewald & N. Hanagata. Штаммы, относящиеся к другим линиям, были определены как *Scotiellopsis* sp. 1, *Scotiellopsis* sp. 2, *Scotiellopsis* sp. 3.

Следует отметить, что *Hormoscilla pringsheimii*, *Chlorogloeopsis* cf. *fritschii* и *Desmodesmus armatus* var. *subalternans* были впервые обнаружены на территории Республики Башкортостан и России.

Таким образом, исследование наземных водорослей и цианобактерий бореально-лесной зоны Башкирии с использованием морфологических и молекулярно-генетических методов позволило выявить ряд новых для территории видов, а также существенно расширить наши представления об экологии и географическом распространении этих организмов.

Абдуллин Ш.Р. Влияние освещенности на распределение фототрофных организмов в привходовой части пещеры Шульган-Таш // Экология. 2011. № 3. С. 226–228.

Абдуллин Ш.Р. Цианобактериально-водорослевые ценозы пещеры Шульган-Таш (Южный Урал) // Экология. 2009. № 4. С. 318–320.

Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.

Дубовик И.Е. Трансформация альгоценозов эродированных почв // Почвоведение. 2000. № 8. С. 966–972.

Дубовик И.Е., Шарипова М.Ю., Закирова З.Р. Синезеленые водоросли почв особо охраняемых территорий Предуралья и Южного Урала // Почвоведение. 2007. № 2. С. 184–188.

Кабиров Р.Р., Суханова Н.В. Альгогруппировки почв городских газонов // Альгология. 1996. Т.6. № 2. С. 175–182.

Кабиров Р.Р., Хайбуллина Л.С. Альгогруппировки отвалов медно-серного комбината // Ученые записки. Сборник науч. статей кафедры ботаники БГПУ. Вып. 1. Уфа: Изд-во БГПУ, 2005. 184 с.

Кузяхметов Г.Г. Анализ пространственного распределения водорослей в карбонатном черноземе под степной растительностью // Почвоведение. 1986. № 10. С. 69–75.

Кузяхметов Г.Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. Уфа: РИО БашГУ, 2006. 286 с.

Минибаев Р.Г., Кабиров Р.Р., Хазипова Р.Х. Индикация антропогенного воздействия на агрофитоценоз при помощи альгосинузий // Тез. докл. Всесоюз. совещания по проблемам агрофитоценологии агробиологии. 1982. С. 73–74.

Полева А.О., Шкундина Ф.Б. Использование показателей микрофитобентоса для оценки экологического состояния донных отложений Павловского водохранилища // Вода: химия и экология. 2011. № 8. С. 42–47.

Шарипова М.Ю. Альгологическая оценка экотонных сообществ в зонах промышленного загрязнения // Экология. 2007. № 2. С. 149–153.

Шарипова М.Ю. Состав и эколого-ценотические особенности эпифитных водорослей речных экосистем как экотонных сообществ // Вестник Оренбургского государственного ун-та. 2005. № 6. С. 123–126.

Л.Д. Гапочка, М.Г. Гапочка, А.П. Зарубина, О.Б. Шавырина
ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ВОДОРосЛЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ
ИЗЛУЧЕНИЕМ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия,
gapochka@physics.msu.ru

L.D. Gapochka, M.G. Gapochka, A.P. Zarubina, O.B. Shavyrina
RADIATION EFFECTS TO AQUATIC ALGAE MICROWAVE RADIATION

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, gapochka@physics.msu.ru

Увеличение антропогенной составляющей электромагнитного фона Земли несет в себе опасность не только прямого, но и опосредованного влияния на биологические объекты через среду их обитания, в том числе, в результате комбинированного действия электромагнитных полей и химических реагентов.

Исследованы биологические эффекты облучения водной среды и ее компонен-

тов (воды, питательной среды, растворов кадмия, кобальта, фенола и их комбинаций) КВЧ ЭМП разной частоты (37.5, 41.55 и 41.95 ГГц). В качестве тест-объекта использована культура зеленой микроводоросли *Scenedesmus quadricauda*. Влияние облучения на развитие и устойчивость культуры микроводорослей через среду обитания было обнаружено только в токсикологических экспериментах при совместном действии облучения и токсических веществ. Вполне вероятно, что добавление токсиканта в облученные среды выявляет скрытое влияние облученной воды на устойчивость микроводорослей, проявляющееся при неблагоприятном внешнем воздействии – интоксикации среды. Исследование отдаленных последствий облучения водных растворов кадмия, кобальта и фенола обнаружило, что эффект облучения растворов кадмия не только не исчезает со временем, но усиливается и становится разнонаправленным: эффект токсичности кадмия после облучения незначительно уменьшается; а к концу эксперимента резко увеличивается. Токсический эффект кобальта для водорослей снижается сразу после облучения, а затем увеличивается, хотя не так значительно, как у кадмия и к концу эксперимента сохраняется. Токсический эффект фенола сразу после облучения не меняется, затем снижается и к концу эксперимента не проявляется.

Снижение эффекта токсичности среды было обнаружено при исследовании комбинированного действия кадмия и фенола, добавленных в культуру микроводорослей после облучения ($\nu = 42.25$ ГГц) их растворов. В этих экспериментах были использованы концентрации фенола – 0.1 г/л и кадмия – 0.1 мг/л, каждая из которых не токсична для водорослей. Однако их совместное присутствие в среде в этих концентрациях привело к резкому увеличению токсичности среды в результате синергизма и почти полному подавлению роста культуры этих соединений. Но несмотря на такой сильный токсический эффект облучение растворов кадмия и фенола, перед добавлением в культуру, полностью снимает их токсичность. Такие же результаты были получены при использовании фенола (0.3 г/л) и кадмия (0.3 мг/л) в токсических концентрациях. Облучение, несмотря на токсичность исходных концентраций, полностью снимает их синергетический эффект. Совместное присутствие в культуре фенола и кобальта в нетоксичных концентрации (0.1 г/л:0.1 мг/л) ингибирует развитие водоросли. В этом случае облучение растворов фенола и кобальта не только полностью снимает их токсичность, но и стимулирует развитие культуры и рост численности клеток микроводорослей.

Таким образом, облучение водной среды и ее компонентов (воды, питательной среды, растворов кадмия, кобальта, фенола и их комбинаций) миллиметровыми волнами разной частоты изменяет токсичность среды для микроводорослей в результате взаимодействия электромагнитных полей и компонентов водной среды, но это изменение неоднозначно и зависит от частоты электромагнитного поля и облучаемых компонентов. Особое внимание и опасения вызывают факты увеличения токсичности кадмия, во-первых, после облучения его растворов и, во-вторых, под влиянием облучения водной среды, что чрезвычайно актуально в мониторинге загрязнения природных объектов тяжелыми металлами с учетом резкого увеличения антропогенного фона электромагнитных полей. Увеличение токсичности кадмия в результате его взаимодействия с электромагнитными полями может иметь глобальные последствия для всего живого на Земле, тем более, что пока очень мало известно о возможных взаимодействиях соединений кадмия (и не только кадмия) с полями в других диапазонах частот. Важно подчеркнуть, что наличие в настоящее время в биосфере мощных источников электромагнитных полей искусственного происхождения может повышать токсичность объектов окружающей среды, в частности загрязненных водоемов, что диктует необходимость экспрессного мониторинга их состояния методами биотестирования. В связи с этим проведена оценка биологического действия электромагнитного поля низкой интенсивности на токсичность сточ-

ной воды разной степени очистки экспресс-методом на основе бактериальной люминесценции тест-системы «Эколюм». Установлено, что облучение электромагнитным полем низкой интенсивности сточной воды разной степени очистки увеличивает ее токсичность. При этом оказалось, что чем выше степень очистки, тем меньше выражено влияние облучения на показатель интегральной токсичности исследуемых образцов воды. Эти данные позволяют рекомендовать бактериальный люминесцентный биосенсор тест-системы «Эколюм» для экспрессного выявления биологического действия электромагнитных полей.

М.А. Герб, А.А. Володина
МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ВОДОРОСЛИ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА
(БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)

Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
г. Калининград, Россия, marger75@mail.ru, alexandra.volodina@gmail.com

М.А. Gerb, A.A. Volodina
MACROALGAE OF RUSSIAN PART OF CURONIAN LAGOON (BALTIC SEA)

Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad, Russia, marger75@mail.ru,

Куршский залив – крупнейшая, полузакрытая и мелководная лагуна юго-восточной части Балтийского моря. Он относится к водоемам высшей рыбохозяйственной категории, южная часть, составляющая 2/3 площади, принадлежит России, а северная – Литовской Республике. На протяжении многих десятилетий залив испытывает высокую биогенную нагрузку и в последние 10 лет характеризуется как гипертрофный водоем (Александров, 2006). По уровню солености российская часть относится к пресноводным водам (0.04–0.17‰). Сведения о таксономическом составе макроводорослей северной части залива представлены в работах (Минкявичус, Пиппинис, 1959; Трайнаускайте, 1977; Jurgilaite D., 1998; Labanauskas, 2000; Sinkevičienė, 2004). Несколько публикаций (Семенова, Смыслов, 2005; Герб, Володина, 2013) посвящены южной части залива.

Полевые исследования проведены в весенне-летний сезоны 2010–2013 гг. Использовали маршрутный метод и метод пробных площадей. Всего заложено 16 площадок, из них 7 – постоянные мониторинговые станции гидробиологического и гидрохимического мониторинга, проводимого АО ИОРАН. Систематическое положение и латинские названия видов выверены по электронным ресурсам: (AlgaeBase, WoRMS). На основе обобщения литературных и собственных данных составлен потенциальный список макроводорослей залива, куда включены и виды из северной части залива. Всего в конспекте 45 видов водорослей из 4 отделов, которые встречаются или могут произрастать в российской части залива: Rhodophyta – 2 вида, Ochrophyta – 5 видов, Charophyta – 20 видов, Chlorophyta – 18 видов. Нашими исследованиями подтверждено произрастание 13 видов макроводорослей. В большинстве своем, это – пластичные и толерантные виды, которые обитают в широком диапазоне экологических условий и тяготеют к мезоэвтрофным и пресноводным условиям водной среды. Два вида отмечены для альгофлоры залива впервые: *Batrachospermum* sp., предположительно *B. cf. atrum* (Hudson) Haevey (Володина, 2013) и *Hydrodictyon reticulatum* (Linnaeus) Bory De Saint-Vincent (Герб, Володина, 2012; Володина, Герб, 2013). В 2012 г. впервые за 11-летний период исследований обнаружена харовая водоросль (видовая принадлежность устанавливается) в литорали залива. Ниже приведен список макроскопических водорослей Куршского залива.

Отдел Rhodophyta

Класс Bangiophyceae, Порядок Bangiales, Сем. Bangiaceae - *Bangia atropurpurea* (Roth) C. Agardh – по литературным данным – для северной части залива.

Класс Florideophyceae, Порядок Batrachospermales, Сем. Batrachospermaceae – *Batrachospermum* cf. *atrum* (Hudson) Haevev (?) – единичная находка 2010 г. на западном берегу залива (Володина, 2013).

Отдел Charophyta

Класс Charophyceae, Порядок Charales, Сем. Characeae – *Chara aspera* C.L. Willdenow; *Chara baltica* A. Bruzelius; *Chara canescens* Desv. Et Loisel. in Loisel.; *Chara contraria* A. Braun Ex Kützing.; *Chara globularis* Thuiller; *Chara tomentosa* Linnaeus; *Chara vulgaris* Linnaeus. – все по литературным данным – для северной части залива; *Chara hispida* Linnaeus по: Семенова (2005); *Chara* sp. – личные находки 2012–2013 гг. на западном берегу залива и (по: Семенова, 2005). *Nitella opaca* (C. Agardh ex Bruzelius) C. Agardh; *Nitella mucronata* (A. Braun) Miq. in H.C. Hall em. Wallman; *Nitella syncarpa* (Thuillier) Kützing; *Nitellopsis obtusa* (Desvaux) J. Groves; *Tolypella nidifica* (O.F. Müll.) A. Braun – все по литературным данным – для северной части залива.

Класс Klebsormidiophyceae, Порядок Klebsormidiales, Сем. Klebsormidiaceae – *Klebsormidium dissectum* (F. Gay) H. Ettl & Gärtner – по: Семенова (2005).

Класс Zygnematomphyceae, Порядок Zygnematales, Сем. Zygnemataceae – *Zygnema* sp. – по (Семенова, 2005). *Mougeotia* sp. – по: Семенова (2005) и личные находки. *Spirogyra fluviatilis* Hilse; *Spirogyra varians* (Hassall) Kützing.; *Spirogyra* sp. – все по: Семенова (2005) и личные находки.

Отдел Chlorophyta

Класс Chlorophyceae, Порядок Chaetophorales, Сем. Aphanochaetaceae – *Aphanochaete repens* A. Braun – по: Семенова (2005). Сем. Chaetophoraceae – *Stigeoclonium tenue* (C. Agardh) Kützing – по: Семенова (2005). Порядок Oedogoniales, Сем. Oedogoniaceae – *Oedogonium* sp. – по: Семенова (2005) и личные находки. Порядок Sphaeropleales, Сем. Hydrodictyaceae – *Hydrodictyon reticulatum* (Linnaeus) Bory De Saint-Vincent – личные находки 2011 и 2013 г. (Герб, Володина, 2012; Volodina, Gerb, 2013). Сем. Microsporaceae – *Microspora willeana* Lagerheim; *Microspora* sp. – все по: Семенова (2005).

Класс Ulvophyceae, Порядок Cladophorales, Сем. Cladophoraceae – *Cladophora fracta* (O.F. Müller ex Vahl) Kützing – по литературным данным и личные находки; *Cladophora glomerata* (Linnaeus) Kützing – по литературным данным и личные находки; *Cladophora glomerata* var. *crassior* (C. Agardh) van den Hoek – по литературным данным – для северной части залива; *Cladophora* sp. – по: Семенова, (2005) и личные находки. *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey – по литературным данным и личные находки. Порядок Ulotrichales, Сем. Ulotrichaceae – *Ulothrix subflaccida* Wille; *Ulothrix tenerrima* (Kützing) Kützing. – по литературным данным – для северной части залива. Порядок Ulvales, Сем. Ulvaceae – *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh – по литературным данным – для северной части залива; *Ulva intestinalis* Linnaeus – по литературным данным и личные находки. *Ulva prolifera* O.F. Müller in Oeder – по литературным данным – для северной части залива; *Enteromorpha* sp. – по: Семенова (2005).

Класс Trebouxiophyceae, Пор. Prasiolales, Сем. Prasiolaceae – *Prasiola crispa* (Lightfoot) Kützing – по: Семенова (2005) и личные находки на южном берегу.

Отдел Ochrophyta

Класс Xanthophyceae, Порядок Tribonematales, Сем. Tribonemotaceae – *Tribonema minus* (Wille) Hazen; *Tribonema monochloron* Pascher & Geitler; *Tribonema viride* Pascher; *Tribonema vulgare* Phasch. – все по: Семенова (2005); Порядок Vaucheriales, Сем. Vaucheriaceae – *Vaucheria* sp. – личные находки на западном берегу.

За последние годы выявлена устойчивая тенденция к росту встречаемости и возрастанию фитомассы β -мезосапробных нитчатых зеленых водорослей, что приводит к негативным последствиям в виде вторичного органического загрязнения, возникновения дефицита кислорода. Так, в конце июня, начале августа 2012 г. и в

конце июня 2013 г. наблюдались скопления водорослевых матов у западного и южного берега залива, где доминировали *Cladophora fracta*, *Oedogonium* sp. Повсеместное распространение имеет *Cladophora fracta*, а вдоль южного и восточного берега наиболее широко распространенными являются конъюгатовые (р. Spirogyra) и эдогониевые водоросли.

Авторы благодарны профессору Janina Kwandrans (Instytut Ochrony przyrody PAN), а также А.А. Боброву и Е.В. Чемерис (ИБВВ РАН) за помощь в определении и консультации по экологии водорослей.

Л.А. Глущенко
ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОПЕРИФИТОНА НЕКОТОРЫХ ГОРНЫХ ОЗЕР
ХРЕБТА ЕРГАКИ (ЗАПАДНЫЙ САЯН)
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия, loraglushchenko@gmail.com
L.A.Glushchenko
PHYTOPERIPHYTE BIODIVERSITY IN LAKES LOCATED IN THE ERGAKY MOUNTAIN RIDGE
(WEST SAYAN)
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, loraglushchenko@gmail.com

Фитоперифитон многочисленных озер горного хребта Ергаки, расположенного в центральной части Западного Саяна (юг Красноярского края), практически не изучен. Публикаций о видовом разнообразии фитоперифитона озер хребта Ергаки нами не найдено, кроме собственной (Глущенко и др., 2009), где даны краткие рекогносцировочные сведения о видовом составе фитоперифитона оз. Ойское. Между тем, антропогенная нагрузка на озера хребта Ергак будет возрастать, так как этот район становится популярным для туризма и кемпингового отдыха. Очевидно, что в таких условиях необходимы фоновые гидробиологические сведения о состоянии водорослей перифитона этих озер. Для исследований выбраны озера Ойское, Нижнее Буйбинское (местное название Каровое), Малое Буйбинское (Радужное) и Большое (Светлое), различающихся по географическим, морфометрическим и гидрофизическим показателям. Пробы фитоперифитона отбирали в июне и августе 2011, 2012 гг. в прибрежной метровой зоне на глубине 0.5–1 м с камней (эпилитон, по: Протасов, 1989, 2010). Количественные пробы отбирали с использованием рамки ($S = 0.01 \text{ м}^2$). Обрастания соскабливали с субстрата с помощью щетки, фиксировали раствором Люголя в модификации Г.В. Кузьмина (ГОСТ 17.1.3.07-82; Протасов, 1985).

Видовая структура сообщества характеризуется числом таксонов, флористическим составом (списком видов), различными индексами сходства и видового разнообразия и является интегральным показателем воздействия комплекса факторов, как природных, так и антропогенных. В составе фитоперифитона исследуемых озер обнаружено 99 видов из 6 отделов водорослей. Наибольшее количество видов (68) зарегистрировано в оз. Ойское, в том числе диатомовых – 47, зеленых – 14, синезеленых – 8 видов. Большое разнообразие диатомовых водорослей характерно для перифитона (Протасов, 1994; Комулайнен, 2004 и др.), а для горных озер отмечалась нами ранее (Глущенко и др., 2009). В оз. Ойское выявлено большое число порядков, семейств и родов в сравнении с другими исследуемыми озерами. Видовое разнообразие наибольшим было у родов диатомовых *Navicula*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Cymbella*, *Achnanthes*; у зеленых – р. *Cosmarium*. Среди синезеленых водорослей идентифицировано 8 видов. Многочисленны по количеству видов водоросли рр. *Oscillatoria*, *Phormidium* и *Calothrix*.

В составе водорослей перифитона оз. Светлое обнаружено наименьшее число видов среди изучаемых озер (38), но из пяти отделов: Bacillariophyta – 24 видов, Cyanophyta – 9, Chlorophyta – 3, Dinophyta и Euglenophyta по 1 виду. Общее снижение числа видов привело к уменьшению видового разнообразия в целом. В фитоперифитоне оз. Светлое в таксономической структуре несмотря на увеличение числа

отделов происходит уменьшение числа остальных таксонов. Видовое разнообразие наибольшим было у родов диатомовых *Cymbella*, *Achnanthes* и *Gomphonema*; синезеленых – р. *Phormidium*. Среди зеленых водорослей идентифицировано всего 3 моновидовых рода.

Меньшее видовое разнообразие (в сравнении с количеством видов в оз. Ойском) отмечено в оз. Радужное – 44 вида, относящихся также к 5 отделам, 10 классам, 13 порядкам. Наибольшим количеством видов представлен отдел диатомовые водоросли - 31 видов. Отделы Chlorophyta и Cyanophyta насчитывали по 6 и 5 видов соответственно, Cryptophyta и Euglenophyta по 1 виду. Самые значимые роды среди диатомовых были *Achnanthes*, *Navicula* и *Pinnularia*. Развитие десмидиевых водорослей связано с присутствием в озере сфагнового мха.

В оз. Каровое выявлено также небольшое количество водорослей. Там идентифицировано 39 таксонов рангом ниже рода, относящихся к 4 отделам. Отдел Bacillariophyta представлен 16 видами, отдел Cyanophyta – 8 видами, несколько больше обнаружено в отделе Chlorophyta – 12 видов, в отделе Euglenophyta идентифицировано 2 вида. Несмотря на то, что оз. Каровое почти в два раза меньше, чем оз. Светлое, в них обнаружено близкое число таксонов фитоперифитона.

Для оценки видового разнообразия сообществ фитоперифитона использовали индекс Шеннона (H , бит), рассчитанный по численности отдельных видов (Алимов, 1996). Величины H варьировали незначительно (среднее за два месяца) в 2011 г.: от 1.25 бит в оз. Светлое до 2.10 бит в оз. Ойское; в 2012 г. от 2.09 бит в оз. Каровое до 2.77 бит в оз. Радужное. В целом, величины индекса Шеннона в 2011 г. подтверждают ранжированный ряд озер, полученный для видового разнообразия по количеству видов: Ойское (53 вида, $H = 2.10$ бит) → Каровое (24 вида, $H = 2.07$ бит) → Светлое (22 вида, $H = 1.25$ бит) → Радужное (20 вида, $H = 1.77$ бит). В 2012 г. картина немного изменилась, оз. Радужное по величине индекса Шеннона на первом месте, что указывает на отсутствие неоднородности по численности в сообществе, количество видов по сравнению с 2011 г. также увеличилось, ранжированный ряд по количеству видов можно представить следующим образом: Ойское (47 видов, $H = 2.39$ бит) → Радужное (38 видов, $H = 2.77$ бит) → Светлое (26 видов, $H = 2.20$ бит) → Каровое (26 видов, $H = 2.09$ бит).

Для сравнения видового состава фитоперифитона разных озер хребта Ергаки рассчитывали индекс видового сходства Серенсена-Чекановского, и индекс Серенсена (= Bray-Curtis). Первый из них основан на качественных данных, второй – количественных (Песенко, 1982). Согласно коэффициенту Серенсена-Чекановского состав фитоперифитона оз. Каровое имел большое сходство с таковым оз. Светлое ($K_{sc} = 0.61$), что и отмечалось выше по количеству таксонов. В остальных случаях для видовых списков озер характерны низкие величины коэффициента, указывающие на небольшое сходство фитоперифитона озер ($K_{sc} = 0.42-0.58$). Отличие видового состава фитоперифитона оз. Ойское по-видимому обусловлено большим объемом выборки и его изученностью, а уникальность списка видов обрастаний оз. Радужное может быть связано с присутствием сфагнового мха и рекреационной нагрузкой. Уникальность видового состава фитоперифитона оз. Радужное подтверждается и количественным коэффициентом Серенсена. Однако, в разрез с указанным выше, проведенный кластерный анализ по количественному индексу Серенсена указывает на сходство доминирующих групп озер Каровое и Ойское (в обоих доминируют синезеленые водоросли *Stigonema hormoides*, *Tolypothrix distorta* и водоросли р. *Calothrix*).

Известно, что видовая структура характеризуется числом таксонов, флористическим составом (списком видов), различными индексами сходства и видового разнообразия и является интегральным показателем воздействия комплекса факторов, как природных, так и антропогенных. По-видимому, в нашем случае, такое распре-

деление видов связано с происхождением озер, возможно определяется одинаковым субстратом (химическим составом горных пород) и другими факторами, которые требуют более детального изучения.

Работа выполнена при поддержке ФЦП Министерства образования и науки «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК № 16.740.11.0484

О.Г. Горохова
ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ BACILLARIOPHYTA В ПЛАНКТОНЕ УСИНСКОГО ЗАЛИВА
КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, o.gorokhova@yandex.ru

O.G. Gorokhova
INVASIVE BACILLARIOPHYTA SPECIES IN PLANKTON OF USINSKI GULF,
KUYBYSHEV RESERVOIR

Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia, o.gorokhova@yandex.ru

Изучение распространения чужеродных видов водорослей и оценка их роли в экосистемах водоемов-реципиентов – актуальное направление гидробиологических исследований. В настоящее время для водохранилищ волжского каскада наиболее изучен видовой состав инвазийных видов Bacillariophyta, прослежено время их появления, рассмотрены причины распространения и натурализации, значение в планктонных сообществах (Генкал, Корнева, 2001; Корнева, 2013, 2014). Обнаружено более 10 солоноватоводных видов диатомей, не отмеченных ранее в планктоне Волги. Для Куйбышевского водохранилища два эвригаллиных понто-каспийских вселенца – *Skeletonema subsalsum* (A.Cl.) Bethge и *Actinocyclus normanii* (Greg.) Hust. имеют существенное значение в летне-осенних альгоценозах (Фитопланктон Нижней..., 2003). Распространение видов-вселенцев в притоках водохранилищ остается предметом исследований в связи недостаточностью фактического материала.

Река Уса – правобережный приток Куйбышевского водохранилища (Малые реки..., 1998). Участок ее нижнего течения, затопленный при создании водохранилища, находится в зоне максимального подпора его водами (район Приплотинного плеса) и представляет собой залив протяженностью более 40 км. Река Уса, как и другие притоки Волжских водохранилищ, испытывает значительную антропогенную нагрузку (Особенности пресноводных..., 2011). Качество ее вод характеризуется в различные годы III–VI классом – «умеренно загрязненная - очень грязная» (Зинченко, 1994; Зинченко, Головатюк, 2007), в Усинском заливе ежегодно наблюдается летнее «цветение» воды, вызванное массовым развитием видов Cyanoprokaryota.

В результате рекогносцировочных исследований разных лет получены сведения о нахождении в планктоне р. Уса вида *S. subsalsum* в конце 1990-х гг. (Тарасова, Буркова, 2005). В ходе проведения гидробиологических работ сотрудниками ИЭВБ РАН на акватории Усинского залива в августе 2012 г., был исследован фитопланктон, в том числе получены данные о распределении и уровне количественного развития видов-вселенцев *A. normanii* и *S. subsalsum*. Пробы планктона в пределах Усинского залива были отобраны на шести станциях, начиная с участка соединения залива с водохранилищем (ст.1), и далее на расстоянии – 7, 10, 20, 28, 35 км, а также в приплотинном участке Куйбышевского водохранилища (русло).

В период сбора проб отмечено массовое развитие Cyanoprokaryota, однако в водах Усинского залива их концентрация была на 1-2 порядка выше, чем в приплотинной части водохранилища. Наряду с ними, Bacillariophyta на русловой станции водохранилища были одним из основных компонентов, составляющих альгоценоз планктона. Здесь виды *A. normanii* и *S. subsalsum* вносили небольшой вклад в суммарную численность: он не превышал у обоих видов 0.5%, тогда как биомасса *A.*

normanii достигала 8% от общей биомассы фитопланктона (до 0.3 мг/л) в верхних горизонтах воды.

В планктоне Усинского залива по численности и биомассе доминировали исключительно Cyanoprokaryota. В устьевом участке залива (ст.1), вид *Skeletonema subsalsum* встречался в очень небольшом количестве: его доля в суммарной численности и биомассе фитопланктона составляла 0.1–0.3%. Распределение по вертикали характеризовалось небольшим увеличением числа клеток на глубине 4-8 м. На всех последующих станциях Усинского залива вид зарегистрирован не был. Численность *Actinocyclus normanii* была невысокой, а биомасса в устье залива составляла от 0.2 до 0.8 мг/л, с максимальной долей в суммарной биомассе фитопланктона 8 и 11% на глубине 6 и 10 м. По мере удаления от устья залива вид встречался в меньшем количестве: на станциях, расположенных в 7 и 10 км от устья его биомасса не превышала 0.1 мг/л, а доля в общей биомассе фитопланктона была не более 1%. На других станциях Усинского залива вид не был встречен.

Таким образом, результаты исследования фитопланктона Усинского залива, полученные в августе 2012 г. свидетельствуют о том, что распределение *A. normanii* и *S. subsalsum* по длине залива характеризовалось резким снижением, на станции в 20-ти км от устья и на всех последующих виды встречены не были. Распределение *A. normanii* и *S. subsalsum* по вертикали на станциях залива характеризовалось некоторым увеличением концентрации клеток на более глубоких горизонтах, в сравнении с поверхностной зоной, где наблюдалось обильное развитие планктонных видов Cyanoprokaryota. Количественное участие *S. subsalsum* в формировании численности и биомассы фитопланктона Усинского залива было незначительным; *A. normanii* при низкой численности являлся субдоминантом по биомассе.

Автор благодарит д.б.н. Т.Д. Зинченко за обсуждение материалов и Е.М. Курину за отбор проб фитопланктона.

Генкал С.И., Корнева Л.Г. Новые находки диатомовых водорослей (Centrophyceae) из волжских водохранилищ // Альгология. 2001. №4. С. 457–461.

Зинченко Т.Д. К характеристике малых рек Самарской области // Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. С. 82-97.

Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. Реки // Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара: Самарский НЦ РАН, 2007. С. 22–29.

Малые реки Волжского бассейна. М.: Изд-во МГУ, 1998. 234 с.

Корнева Л.Г. Влияние строительства водохранилищ, эвтрофирования и изменения климата на диатомовые водоросли планктона водохранилищ волжского бассейна // Матер. XIII Международ. науч. конф. альгологов «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований». Борок, 2013. С. 53–55.

Корнева Л.Г. Инвазии чужеродных видов планктонных водорослей в пресных водах Голарктики (Обзор) // Российский журн. биологических инвазий 2014. № 1. С. 9–37.

Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна. Тольятти: Кассандра, 2011. 322 с.

Тарасова Н.Г., Буркова Т.Н. *Skeletonema subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge в Куйбышевском водохранилище и в водоемах Нижней Волги // Тез. докл. II Международ. симп. «Чужеродные виды в Голарктике» (Борок-2). Рыбинск; Борок: ИБВВ РАН, ИПЭЭ РАН, 2005. С. 59–60.

Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки. СПб.: Наука, 2003. 232 с.

Е.С. Гусев

РАЗНООБРАЗИЕ СИНУРОВЫХ ВОДОРосЛЕЙ ВЬЕТНАМА.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, evsergus@yahoo.com

E.S. Gusev

DIVERSITY OF SYNUROPHYCEAN ALGAE IN VIETNAM.

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, evsergus@yahoo.com

Водоросли порядка Synurales (класс Chrysophyceae) изучали в водоемах Вьетнама в 2008–2014 гг. Основными типами исследуемых водоемов были водохрани-

лица, естественные озера, пойменные водоемы и небольшие озера заболоченных территорий в провинциях Кханьхоа, Биньтхуан, Донгнай, Ламдонг, Куангнам и Даклак. Изучение фиксированных проб позволило обнаружить 50 таксонов синуровых водорослей рангом ниже рода, из них 10 – новые для науки виды. К настоящему времени уже опубликовано описание 2 новых для науки видов. Из мангровых болот полуострова Камрань (провинция Кханьхоа) описан *Mallomonas korshikovii* E.S. Gusev (Gusev, 2013). Вид относится к секции Papillosae и характеризуется гексагональным расположением папилл на щите с небольшой папиллой в центре, смещенным к центру V-образным ребром и раздвоенными на конце щетинками. Вид найден только во Вьетнаме при высоких величинах минерализации воды (до 1,5 г/л). Из национального парка Каттьен (провинция Донгнай) описан *Mallomonas spinosa* E.S. Gusev (Gusev, 2012). Этот вид отмечен также в 2 водоемах провинции Кханьхоа. Прежде несколько чешуек этого вида были найдены в одном водоеме в Малайзии (Dürschmidt & Croome, 1985), с тех пор находок этого таксона не было. Вид очень редкий, обладающий уникальной структурой чешуек. Предварительно он помещен нами в секцию Papillosae, однако он обладает рядом признаков, не встречающихся у остальных представителей рода. Основные отличительные признаки – мощный шип с 4-мя ребрами, характерный только для этого вида, «окно» в проксимальной части с видимыми порами на базальной пластинке, хорошо развитые ребра на щите и регулярные ряды папилл. Чешуйки этого вида, по-видимому, не имеют купола, что также отличает его от большинства других видов рода (Siver & Lott, 2012). Таксон найден как в высокоэвтрофном водохранилище, так и в олиготрофном временном водоеме в национальном парке.

В 2012–2013 гг. выделено в культуру 45 штаммов синуровых водорослей из водоемов провинций Кханьхоа, Биньтхуан и Ламдонг. Выделены в культуру виды р. *Mallomonas* из следующих секций: Annulatae, Mallomonas, Papillosae, Quadratae, Torquatae, Planae, Multisetigerae. Род *Synura* в коллекции представлен видами из секций Petersenianaе и Synura. Все организмы задокументированы с помощью сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии, проведен молекулярно-генетический анализ по ядерным (SSU и LSU rDNA) и пластидным (rbcL) генам. Данная коллекция содержит 5 новых для науки видов из рода *Mallomonas*.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, гранты №14-04-93001 и №12-04-00257 и Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра в рамках программы «Эколан 3.2».

Д.А. Давыдов

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА CRIS КАК ОСНОВА ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ФЛОРЫ
ЦИАНОПРОКАРИОТ РОССИИ**

Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского НЦ РАН, г. Кировск, Россия,
d_disa@mail.ru

D.A. Davydov

**INFORMATION SYSTEM CRIS AS A BASIS OF PREPARATION FLORA OF CYANOPROKARYOTA OF
RUSSIA**

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute Kola SC RAS, Kirovsk, Russia, d_disa@mail.ru

Видовой состав и распространение цианопрокариот на территории России был обобщен в монографии А.А. Еленкина (1936, 1938, 1949), на основе которой позднее был издан определитель синезеленых водорослей (Голлербах и др., 1953). За исключением отдельных чек-листов (Штина и др., 1998) попытки составления современной флоры цианопрокариот России не предпринимались. Между тем, существенно изменилось их систематика и номенклатура, а также значительно повысилась изученность территории страны.

Составление флоры России важно по нескольким причинам: 1) в таких изданиях обобщены знания по разнообразию группы организмов в конкретный момент времени, что позволяет сохранить такую информацию для будущих исследователей; 2) флоры являются источником информации для специалистов охраны природы и используются при проведении гидробиологических, экологических и т.п. исследований; 3) крупные сводки делают более доступными знания о разнообразии цианопрокариот для высшего образования и общественности. Несмотря на микроскопические размеры цианопрокариот их значение для человека и окружающей среды зачастую больше, чем значение макроскопических организмов, особенно в случае их массового развития.

Составление актуального списка видов цианопрокариот с указанием их распространения на территории России на современном этапе наиболее рационально осуществить с использованием базы данных или информационной системы. На наш взгляд, такая информационная система (ИС) должна удовлетворять следующим условиям: 1) она должна быть общедоступной посредством сети Интернет, 2) удобной для использования, 3) в автоматическом режиме осуществлять хранение и обработку информации, 4) позволять пользователю производить анализ имеющейся информации.

Нами создана ИС CRIS (<http://krabg.ru/cris/>) (Мелехин и др., 2013), один раздел которой (CYANOpro) посвящен цианопрокариотам. CRIS – это web-ориентированная информационная система по биоразнообразию криптогамной биоты России. Она доступна любому пользователю посредством сети Интернет, не требует от него специального программного обеспечения или особых навыков. Хранение информации осуществляется ИС в автоматическом режиме на специальном сервере. В систему вносятся как литературные, так и гербарные данные. По запросу пользователя осуществляется выборка из массива данных, что позволяет получить список видов с требуемыми географическими, экологическими, или таксономическими характеристиками, т.е. произвести анализ информации. Таким образом, ИС CRIS может быть использована не только как вспомогательный инструмент, в качестве справочника, но и позволяет осуществлять организацию и интеграцию данных.

Развитие и наполнение данной ИС может служить отправной точкой для составления флоры цианопрокариот России, анализа и разработки научных основ мониторинга биоразнообразия и состояния окружающей среды. На настоящий момент в ИС CYANOpro внесены указания всех местонахождений цианопрокариот Мурманской области, арх. Земля Франца-Иосифа, арх. Новая Земля. Создание актуальной и адекватной флоры цианопрокариот России может быть реализовано только с участием всех специалистов-альгологов нашей страны. Задачей каждого заинтересованного ученого должно стать наполнение ИС данными по биоразнообразию цианопрокариот своего региона. Только совместный труд позволит получить нам целостную картину распространения цианопрокариот на территории России.

Еленкин А.А. Синезеленые водоросли СССР. Общая часть. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 984 с.

Еленкин А.А. Синезеленые водоросли СССР. Специальная (систематическая) часть. Вып. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 985 с.

Еленкин А.А. Синезеленые водоросли СССР. Специальная (систематическая) часть. Вып. 2. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949. С. 986–1908.

Голлербах М.М., Коссинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М., 1953. Вып. 2. 653 с.

Мелехин А.В., Давыдов Д.А., Шалыгин С.С., Боровичев Е.А. Общедоступная информационная система по биоразнообразию цианопрокариот и лишайников CRIS (Cryptogamic Russian Information System) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол., 2013. Т. 118. Вып. 6. С. 51–56.

Штина Э.А., Кабиров Р.Р., Хайбуллина Л.С. и др. Список водорослей, обнаруженных в почвах на территории бывшего СССР. Уфа, 1998. 33 с. Деп. в ВИНТИ № 3759.

О.А. Дмитриева, К.А. Подгорный
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ СОЛЕННОСТЬЮ ВОДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ
ФИТОПЛАНКТОНА ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ
МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
г. Калининград, Россия, phytob@yandex.ru, kapborok@mail.ru

О.А. Dmitrieva, K.A. Podgornyj

LONG-TERM INVESTIGATIONS OF CORRELATIONS BETWEEN SALINITY AND PHYTOPLANKTON
CHARACTERISTICS OF THE VISTULA LAGOON (BALTIC SEA)

Atlantic scientific research institute of marine fisheries and oceanography,
Kaliningrad, Russia, phytob@yandex.ru, kapborok@mail.ru

Вислинский залив – солоноватоводная лагуна, расположенная на юго-востоке Балтийского моря. В течение вегетационного периода средние значения солёности воды приближаются к «критическим» 3–5 ‰ (Хлебович, 1974). Целью работы было проанализировать возможные связи между солёностью воды и биомассой разных систематических групп фитопланктона.

Для выполнения статистического анализа использованы материалы многолетних ежемесячных (апрель–ноябрь) наблюдений за период 2002–2010 гг. Анализ проводили в несколько этапов. Сначала был проведен нелинейный корреляционный анализ зависимости суммарной биомассы фитопланктона ($B_{tot-Phytopl}, \text{г/м}^3$) от солёности воды ($S_w, \text{‰}$) для всего массива данных (без разделения на сезоны) и для всех имеющихся лет наблюдений. В результате не было выявлено каких-либо устойчивых статистических закономерностей. Это связано со значительной межгодовой и внутригодовой изменчивостью компонентов экосистемы и, как следствие, – с высокой временной неоднородностью имеющихся рядов данных по солёности воды и общей биомассе фитопланктона.

На следующем этапе был выполнен аналогичный анализ данных для всех лет, но отдельно по каждому месяцу. В результате было установлено, что из-за высокой межгодовой изменчивости данных значимые корреляционные зависимости по-прежнему не выявлялись. Далее все данные рассматривали отдельно для каждого месяца. Кроме того, для частичного устранения временной неоднородности данных дополнительно был проведен кластерный анализ. Это позволило сгруппировать годы с наиболее близкими значениями гидрохимических и гидробиологических характеристик. После выделения кластеров (наиболее похожих групп лет по наиболее важным характеристикам) проводили корреляционный анализ – отдельно для каждого месяца и каждого кластера. В результате было установлено, что нелинейные регрессионные зависимости $B_{tot-Phytopl} = f(S_w)$ устойчиво выявляются во всех месяцах вегетационного периода. Они могут быть как монотонными (возрастающими или убывающими), так и немонотонными, то есть иметь один или два экстремума, не иметь экстремумов, но содержать точки перегиба и участки выхода на «плато». Положение точек экстремума и зон выхода на «плато» не привязано жестко к конкретным значениям или диапазонам солёности воды. Это может быть связано с совокупным влиянием нелинейных взаимодействий между абиотическими и биотическими компонентами экосистемы. Таким образом, если некоторый физиологический «критический уровень» солёности и существует, то для открытой динамической системы его достаточно трудно однозначно выявить с помощью регрессионного нелинейного анализа данных наблюдений.

Следующий этап анализа состоял в том, что для каждого месяца по каждому выделенному кластеру рассчитывали средние значения солёности воды и биомассы фитопланктона – как общей, так и по отдельным систематическим группам. Затем по полученным таким образом рядам данных проводили нелинейный корреляционный

анализ. Зависимость биомассы диатомовых водорослей (B_{Bacill} , г/м³) от S_w описывается уравнением (1):

$$B_{Bacill} = 68.85 - 54.85S_w + 14.52S_w^2 - 1.26S_w^3, (R^2 = 0.73) \quad (1)$$

Средняя биомасса диатомовых в диапазоне солёности воды от 2 до 3.2 ‰ уменьшается с 6.5 до 1.0 г/м³. При дальнейшем увеличении солёности (с 3.2 до 5 ‰) средняя биомасса диатомовых изменяется незначительно и составляет менее 2 г/м³.

Для зависимости биомассы зеленых водорослей (B_{Chlor} , г/м³) от S_w получено уравнение (2):

$$B_{Chlor} = 8.14 - 5.62S_w + 1.52S_w^2 - 0.12S_w^3, (R^2 = 0.32) \quad (2)$$

В диапазоне солёности от 2 до 3.2 ‰ биомасса зеленых водорослей от солёности воды практически не зависит. При изменении солёности от 3.2 до 5 ‰ средняя биомасса зеленых водорослей возрастает примерно с 1.8 до 3.0 г/м³. При этом имеет место достаточно сильный разброс данных по биомассе.

Для зависимости биомассы синезеленых водорослей (B_{Cyan} , г/м³) от S_w уравнение регрессии (3) имеет следующий вид:

$$B_{Cyan} = 39.65 - 39.21S_w + 12.1S_w^2 - 1.1S_w^3, (R^2 = 0.43) \quad (3)$$

В диапазоне солёности от 2 до 3.2 ‰ биомасса от солёности не зависит и составляет < 1 г/м³. При изменении солёности от 3.2 до 5 ‰ средняя биомасса синезеленых возрастает примерно с 1.0 до 9.0 г/м³. При этом при значениях солёности воды 3.5–4.5 ‰ имеет место достаточно сильный разброс данных по биомассе – отдельные значения составляют 10–12.3 г/м³ и выходят за границы доверительного интервала. Уравнения регрессии $B_{Chlor} = f(S_w)$ и $B_{Cyan} = f(S_w)$ в целом имеют одинаковые качественные особенности.

Для биомассы всех других систематических групп водорослей (преимущественно динофитовых и криптофитовых) (B_{Other} , г/м³) получено уравнение (4):

$$B_{Other} = 46.87 - 35.94S_w + 9.09S_w^2 - 0.75S_w^3, (R^2 = 0.72) \quad (4)$$

Средняя биомасса водорослей в диапазоне солёности воды от 2 до 3.2 ‰ уменьшается с 5.0 до 0.5 г/м³. При дальнейшем увеличении солёности (с 3.2 до 5 ‰) средняя биомасса B_{Other} изменяется незначительно и составляет менее 1 г/м³. Уравнения регрессии $B_{Bacill} = f(S_w)$ и $B_{Other} = f(S_w)$ имеют одинаковые качественные особенности.

Зависимость общей биомассы фитопланктона от солёности уравнение регрессии описывается уравнением (5):

$$B_{tot_Phytopl} = 159.98 - 130.31S_w + 35.30S_w^2 - 3.02S_w^3, (R^2 = 0.49) \quad (5)$$

Средняя суммарная биомасса фитопланктона в диапазоне солёности воды от 2 до 3.2 ‰ уменьшается примерно с 15.0 до 4.0 г/м³. При дальнейшем увеличении солёности (с 3.2 до 5 ‰) средняя суммарная биомасса возрастет – в среднем до 14 г/м³.

Таким образом, проведенный нелинейный корреляционный анализ данных показал, что характер зависимостей биомассы отдельных систематических групп фитопланктона от солёности воды существенно различается. При изменении солёности от 2 до 3.2 ‰ биомасса зеленых и синезеленых водорослей от величины S_w практически не зависят. Аналогичным образом, в диапазоне солёности 3–5 ‰ средняя биомасса диатомовых водорослей изменяется незначительно. Минимум суммарной биомассы, который обусловлен разным характером связи биомассы отдельных систематических групп фитопланктона и солёности воды наблюдается при значении солёности 3.0–3.2 ‰.

И.Н. Егорова
К ФЛОРЕ НАЗЕМНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ЮГА ЯКУТИИ

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия,
egorova@sifibr.irk.ru

I.N. Egorova

TO THE FLORA OF TERRESTRIAL ALGAE IN THE SOUTH YAKUTIA

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia, egorova@sifibr.irk.ru

В начале августа 2012 г. были проведены экспедиционные работы в бассейне р. Чуга, левого притока р. Алдан, в окрестностях кордона Максимовское (Алданское нагорье, Олекминский и Алданский административные районы, Республика Саха (Якутия), Восточная Сибирь, Россия). Маршрут, пролежавший по территории буферной зоны Олекминского заповедника и граничащим с ним южнее территориям, был привязан к водным артериям. Были собраны образцы водорослей с поверхности почвы, каменистых и растительных (мохообразные и кора древесных растений) субстратов, взяты немногочисленные пробы из водных экотопов. Отбор проведен с соблюдением правил стерильности в бумажные пакеты, стеклянную и пластиковую посуду. Часть собранного материала высушена на воздухе, часть – зафиксирована в 4% формальдегиде. Образцы хранятся в коллекции водорослей СИФИБР СО РАН (г. Иркутск). Материал находится в обработке. Определение видов осуществлено с использованием световых[микроскопов МБИ-6 и Axio Scope A1, основано на установлении особенностей морфологии и жизненного цикла водорослей. Для ряда видов были получены альгологически чистые монокультуры, методы получения и условия выращивания которых опубликованы (Егорова, 2011, 2012). При определении использованы отечественные и зарубежные определители, таксономические сводки и обзорные статьи (Еленкин, 1938; Голлербах и др., 1953; Кондратьева, 1968; Geitler, 1925; Komarek, Anagnostidis, 1986, 1989, 1998, 2005; Anagnostidis, Komarek, 1990; Ettl, Gärtner, 1995; Андреева, 1998; Kostikov et al., 2002; Rindi et al., 2010). Таксономический список на уровне отделов составлен с учетом работ Н.П. Масюк, И.Ю. Костикова (2002), П.М. Царенко (2005). Роды и виды в родах расположены в алфавитном порядке в соответствующем отделе. Название вида дается с учетом современных сведений о его таксономическом положении. Аннотации к видам включают краткие сведения о местообитании и характеристике материала (натурный или культивируемый).

CYANOPROKARYOTA

1. *Aphanocapsa fusco-lutea* Hansgirg – в ассоциации с мохообразными на небольшом валуне в лесу.
2. *Cyanothece aeruginosa* (Ndgeli) Kombrink – в ассоциации с наскальными мохообразными.
3. *Fischerella* cf. *musciicola* (Thuret) Gomont – на обнаженной поверхности сырой почвы на проселочной дороге; на мохообразных, растущих на отдельно стоящем камне в лесу.
4. cf. *Hassallia byssoidea* Hassall ex Bornet et Flahault – в ассоциации с наскальными мохообразными.
5. *Microcoleus vaginatus* (Vaucher) Gomont – тонкие кожистые синезеленые пленки на влажной затененной отрицательно наклоненной поверхности гранитной глыбы на вершине курума.
6. *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault – на каменистых субстратах; в ассоциациях с мохообразными на почве и гниющем дереве, на сырой гниющей древесине.
7. *N. microscopicum* Carmichael ex Bornet et Flahault – в ассоциации с наскальными мохообразными.
8. *Nostoc* sp. – в ассоциации с наскальными мохообразными.

9. *Phormidium autumnale* (Agardh) Trevisan ex Gomont – в культурах из макроскопических водорослевых обрастаний сырых камней на вершине курума и в воде среди камней курума.

10. *Porphyrosiphon* sp. – кожистые синезеленые пленки на сырой поверхности почвы среди прорастающих мохообразных; в ассоциации с мохообразными на небольшом валуне в лесу.

11. *S. minutum* (Agardh) Hassall ex Bornet et Flahault – в ассоциации с *Nostoc commune*.

12. *S. ocellatum* (Dillwyn) Thuret – среди разрастаний *Stigonema* sp. на каменистых субстратах; в ассоциации с *Nostoc commune*.

13. *S. panniforme* (Agardh) Bornet et Flahault – на каменистых субстратах.

14. *Stigonema* sp. – на каменистых субстратах.

15. *Symplocastrum friesii* Agardh ex Kirchner – на сырой поверхности почвы среди прорастающих мохообразных на проселочной дороге.

CHLOROPHYTA

16. cf. *Apatococcus lobatus* (Chodat) J. B. Petersen – в корочках *Stigonema* на каменистых субстратах;

17. *Microthamnion strictissimum* Rabenhorst – в культуре водорослей из макроскопических водорослевых обрастаний сырых камней;

18. *Pseudococcomyxa* sp. – в культуре водорослей из макроскопических разрастаний cf. *Sporotetras polydermatica*;

19. *Scotiellopsis levicostata* (Hollerbach) Puncochárová et Kalina – в воде, застоявшейся в камнях на вершине курума;

20. cf. *Sporotetras polydermatica* (Kützing) Kostikov et al. – макроскопические желеобразные гроздевидные разрастания светло-зеленого цвета на сырой поверхности гранитной глыбы, затененной, отрицательно наклоненной, на вершине курума; микроскопические колонии здесь же в воде, застоявшейся между каменными глыбами; культуральный материал из разрастаний.

21. *Stichococcus* sp. – в ассоциации с мохообразными на небольшом валуне в лесу.

STREPTOPHYTA

22. cf. *Cosmarium* sp. – в орошаемой водой ассоциации цианопрокариот и мохообразных на вертикальной наклонной поверхности гранитной потолочной стены на входе в заброшенную штольню рудника по добыче горного хрусталя.

23. *Klebsormidium* sp. – в культуре водорослей из макроскопических разрастаний cf. *Sporotetras polydermatica*.

Всего зарегистрировано 23 вида водорослей из трех отделов: Цианопрокариота, Chlorophyta и Streptophyta. В отделе Цианопрокариота выявлено 15 представителей из 10 родов, Chlorophyta – шесть видовых и родовых таксонов, Streptophyta – два видовых и родовых таксона. Для ряда представителей наземных водорослей необходимы дальнейшие наблюдения за их морфологией и молекулярно-генетические исследования. В частности, морфология cf. *Sporotetras polydermatica* в натурном материале соответствует таковой в описании вида в работе В.М. Андреевой (1998). Культивируемый материал по морфологии сходен с представителями рода *Coenochloris*.

Сведения о водных и наземных водорослях юга Якутии, в том числе Олекминского и Алданского административных районов содержатся в ряде работ (Васильева-Кралина и др., 1998; Рожкова, 2001; Васильева-Кралина, Пшенникова, 2004; Разнообразие..., 2005). Полученные нами данные расширяют и дополняют сведения о разнообразии наземных водорослей и их экологии.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ, проект №12-04-01365-а.

Автор выражает признательность за содействие в организации экспедиции С.Э. Вершининой, Т.И. Морозовой, госинспектору заповедника А.И. Дербакову, а также В.М. Андреевой за консультации по определению зеленых водорослей.

- Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). СПб., 1998. 351 с.
- Васильева-Кралина И. И., Пшенникова Е.В., Рожкова О.Ю. Водоросли некоторых рек заповедника «Олекминский» // Вопросы экологии и экологического образования в Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ, 1998. С.36–41.
- Васильева-Кралина И.И., Пшенникова Е.В. Водоросли тектонических озер и питающих их рек в Южной Якутии // Ботанические исследования в Якутии. Якутск: НИПК Сахаполиграфиздат, 2004. С. 27–33.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская Наука, 1953. Вып. 2. 652 с.
- Егорова И. Н. Видовой состав водорослей в ассоциациях с *Rhytidium rugosum* (BRYOPHYTA) в Сохондинском заповеднике (Забайкальский край) // Ботан. журн. 2012. Т. 97. № 8. С. 1051–1061.
- Егорова И.Н. Новые виды в составе наземной альгофлоры Байкальского региона // Изв. Иркутского государственного ун-та. Сер. «Биология. Экология». 2011. Т. 4. № 3. С. 18–22.
- Еленкин А.А. Сине-зеленые водоросли СССР. Специальная часть. Вып. I. М.-Л., 1938. 984 с.
- Кондратьева Н.В. Синьо-зелені водорості – Суанопhyta. Класс гормогонієві – Нормогоніопhyсеає // Визначник прісноводних водоростей УРСР. Київ: Наукова Думка, 1968. Вип. I. Ч. 2. 524 с.
- Масюк Н.П., Костіков І. Ю. Водорості в системі органічного світу. Київ, 2002. 178 с.
- Царенко П.М. Номенклатурно-таксономические изменения в системе «зеленых» водорослей // Альгология. 2005. Т. 15. № 4. С. 459–467.
- Разнообразии растительного мира Якутии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 328 с.
- Рожкова О.Ю. Исследования альгофлоры Олекминского заповедника // Флора и фауна особо охраняемых природных территорий Республиканской системы Ытык Кэрэ Сирдэр. Якутск: Кудук, 2001. С. 53–73.
- Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 5 – Stigonematales // Algological Studies / Archiv Hydrobiol. Suppl. 1990. № 59. P. 1–73.
- Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. Stuttgart, 1995. 721 s.
- Geitler L. Die Süßwasserflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Heft 12: Cyanophyceae. Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1925. 482 s.
- Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 2. – Chroococcales // Arch. Hydrobiol. Algol. Stud., 1986. Suppl. 73. H. 2. P. 157–226.
- Komárek J., Anagnostidis K. Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 4 – Nostocales // Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie. 1989. Suppl. 82. H. 3. P. 247–345.
- Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota I. Chroococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 1998. Bd. 19(1). 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota I. Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2005. Bd. 19(2). 759 p.
- Kostikov I., Darienko T., Lukešova A., Hoffmann L. Revision of the classification system of Radiococcaceae Fott et Komárek (except the subfamily Dictyochlorelloideae) (Chlorophyta) // Algological Studies / Archiv für Hydrobiologie. Suppl. 2002. № 104. S. 23–58.
- Rindi F., Mikhailyuk T. I., Sluiman H. J., et al. Phylogenetic relationships in Interfilum and Klebsormidium (Klebsormidiophyceae, Streptophyta) // Mol. Phylogenet. EV., 2010. V. 58, I. 2. P. 218–231.

И.Н. Егорова, М.С. Коновалов
О НЕКОТОРЫХ ИТОГАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОРосЛЕЙ В АССОЦИАЦИЯХ
С МОХООБРАЗНЫМИ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия, egorova@sifibr.irk.ru

I.N. Egorova, M.S. Konovalov
ABOUT SOME RESULTS OF THE RESEARCHES OF ALGAE IN THE ASSOCIATIONS WITH
BRIOPHYTA IN BAIKAL REGION

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia, egorova@sifibr.irk.ru

В результате исследований водорослей в ассоциациях с наземными мохообразными Байкальского региона выявлено 176 видовых и внутривидовых таксонов из шести отделов: Суанoprokaryota – 56 (31,4% общего числа видов, разновидностей и форм); Bacillariophyta – 5 (2,9%); Xanthophyta – 10 (5,7%); Eustigmatophyta – 3 (1,7%);

Chlorophyta – 87 (49,7%); и Streptophyta – 15 (8,6%). Комплекс видов водорослей, зарегистрированных в ассоциациях с мохообразными, произрастающими в различных эколого-географических условиях, формируют представители одних и тех же отделов. Ведущую роль по видовому разнообразию играют водоросли Chlorophyta и Цианопрокариота.

Исследования были сосредоточены, главным образом, в Сохондинском государственном природном биосферном заповеднике (Забайкальский край). Территория удалена от промышленных центров, не подвержена интенсивному антропогенному воздействию. На сравнительно небольшой площади заповедника сконцентрированы степные, горнотаежные, горнотундровые и трансзональные (луга, болота, озера и т.д.) сообщества.

В ассоциациях с мохообразными в наземных местообитаниях выявлено 166 видовых и внутривидовых таксонов водорослей. Среодообразующие растения всех изученных ассоциаций охарактеризованы нами ранее (Егорова и др., 2009, 2010, 2013). Комплекс видов водорослей, ассоциированных с мохообразными, образуют представители выше перечисленных отделов. Насыщенность отделов видами повторяет те же черты, что и в общем комплексе: Цианопрокариота – 52 видовых и внутривидовых таксона (31,3%); Bacillariophyta – 5 (3,0%); Xanthophyta – 9 (5,4%); Eustigmatophyta – 3 (1,8%); Chlorophyta – 84 (50,6%); и Streptophyta – 13 (7,8%).

Роды *Aphanocapsa*, *Jaaginema*, *Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Nostoc*, *Tolypothrix*, *Stigonema* (Цианопрокариота); *Hantzschia* (Bacillariophyta); *Vischeria* (Eustigmatophyta); *Chlamydomonas*, *Elliptochloris*, *Pseudococcomyxa*, *Scenedesmus*, *Mychonastes*, *Neocystis*, *Chlorococcum*, *Myrmecia*, *Bracteacoccus*, *Leptosira*, *Stichococcus* (Chlorophyta); *Klebsormidium*, *Interfilum* (Streptophyta) найдены в ассоциациях, развивающихся на почве, каменистых субстратах и стволах деревьев. В исследованных ассоциациях наибольшего обилия достигали цианопрокариоты (Егорова и др., 2010). В отличие от представителей других отделов, во многих случаях в натурном материале возможна их идентификация по морфологическим признакам, что позволяет в определенной степени охарактеризовать ситуацию в природных условиях, а не экстраполировать данные опытов, ведущихся камерально. В течение периода вегетации регистрировали динамику встречаемости родов цианопрокариот – diaзотрофов, доминирующих в ассоциациях с распространенными на территории заповедника мохообразными: *Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb., *Hedwigia ciliata* (Hedw.) P. Beauv., *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Bruch et al., *P. selwynii* (Kindb.) Crum et al. В ассоциациях с *Rhytidium* и *Hedwigia*, произрастающих на каменистых субстратах и почве, это представители родов *Nostoc* и *Stigonema*. В ассоциациях с *Pylaisia* на стволах деревьев – *Nostoc* и водоросли сем. Microchaetaceae, преимущественно из родов *Tolypothrix* и *Hassallia*. В течение периода вегетации наблюдались флуктуации встречаемости *Stigonema* и *Nostoc* как в ассоциациях с *Rhytidium*, так и с *Hedwigia*, она то возрастала, то существенно снижалась. Вероятно, это является следствием колебания численности цианопрокариот в ответ на изменения экологических факторов в определенный период, а не сезонными их изменениями. В ассоциациях с *Rhytidium* *Stigonema* предпочтительнее выявляли на каменистых субстратах. В ассоциациях с *Hedwigia* *Stigonema* регистрировали чаще, чем *Nostoc*. В отличие от ассоциаций, формирующихся на почве и каменистых субстратах, в ассоциациях с *Pylaisia* не наблюдали резких колебаний во встречаемости доминирующих родов цианопрокариот.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 12-04-01365-а) и интеграционного проекта УрО РАН № 12-С-4-1002.

Егорова И. Н., Коновалов М. С., Дударева Н. В. Особенности состава альгофлоры, выявленной в ассоциациях с мохообразными Сохондинского биосферного заповедника // Изв. Иркутского государственного ун-та. Сер. «Биология. Экология», 2009. Т. 2. № 1. С. 8–11.

Егорова И. Н., Дударева Н. В., Коновалов М. С. Эпибриофитные Суанопроскауота Сохондинского заповедника (Забайкальский край, Россия) // Проблемы изучения и сохранения растительного мира Евразии. Матер. Всерос. конф. с международ. участием. Иркутск, 2010. С. 87–90.

Егорова И. Н., Дударева Н. В., Коновалов М. С., Казановский С. Г. Водоросли в ассоциациях с мохообразными каменистых субстратов // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Матер. X международ. науч.-практич. конф. Барнаул: Артика, 2011. С. 40–43.

Егорова И.Н., Коновалов М.С., Дударева Н.В. и др. Особенности состава и структуры группировок водорослей в ассоциациях с мохообразными в экстремальных условиях обитания // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде. Матер. Всерос. науч. конф. Иркутск: СИФИБР СО РАН, 2013. С. 318–320.

С.А. Карпов

ПРОТИСТЫ – ПАРАЗИТЫ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия, sakarpov4@gmail.com

S.A. Karpov

PROTISTS, THE PARASITES OF ALGAE

Zoological Institute RAS, St. Petersburg State University, Russia, sakarpov4@gmail.com

Практически все группы водорослей подвергаются нападению паразитоидов и паразитов: первые вызывают гибель своего хозяина, вторые, частично разрушая клетки, не убивают организм водоросли. Между паразитоидами и хищными протистами довольно трудно провести границу: например, хищные амёбы *Vampyrella* прикрепляются к клетке водоросли, проделывают отверстие в оболочке и высасывают содержимое водоросли. Другие хищные жгутиконосцы – *Viridiraptoridae* – также проделывают отверстие в стенке, забираются внутрь клетки и выедают ее содержимое (Hess, Melkonian, 2013). Примерно так же ведут себя афелиды (паразитоиды): проникнув внутрь хозяина, эти амёбы полностью выедают содержимое клетки, но используют ее оболочку для формирования спорангия (Громов, 2000). Наконец, многие хитридиомицеты, которые считаются паразитами, прорастают ризоидами внутрь клетки водоросли, питаются за счет эндоцитоза, но формируют спорангий вне тела водоросли (Sparrow, 1960). Клетка водоросли, в конце концов, погибает, поэтому в случае одноклеточного хозяина можно считать такого хитридиомицета паразитоидом.

В работе рассмотрены те группы протистов, которых можно без натяжек считать паразитоидами или паразитами водорослей, и которые активно обсуждаются в современной литературе: Aphelida и Cryptomycota (Opisthosporidia), и Chytridiomycota (Fungi). Основные обзоры: Громов (1976), Kagami et al. (2007), Karpov et al. (2014).

Представители недавно описанной группы Cryptomycota (Jones et Richards) Karpov, Aleoshin et Mikhailov 2014 внешне напоминают хитридиомицетов, но всегда эндобионты и питаются внутри хозяина фаготрофно. Обычно они поражают грибы, но отмечено инфицирование диатомовых (Jones et al., 2011). Близкие им афелиды поражают только водоросли отделов Chlorophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta (Karpov et al., 2014). Они также проникают в клетку хозяина и фагоцитируют его содержимое. После полного опустошения клетки водоросли афелида превращается в плазмодий, делится на зооспоры, которые выходят наружу и заражают другие водоросли.

Описаны сотни видов хитридиомицетов, которые поражают практически все группы пресноводных и многих морских водорослей. В условиях высокой плотности (цветение) в течение двух недель эти паразиты уничтожают более 90% популяции планктонных водорослей (Canter, Lund, 1968). Все они обладают сложным жизненным циклом, в котором расселительной стадией является зооспора с одним задним жгутиком. Хитридиомицеты паразитируют преимущественно на пресноводных зеленых, диатомовых, желто-зеленых, золотистых водорослях. В морях они редки, но описаны случаи поражения бурых и красных водорослей, а также динофлагеллат (Voight et al., 2012; Lepelletier et al., 2014). Эти паразиты способны проделывать от-

верстия только в органических покровах, они не справляются с известковыми и кремнеземными панцирями. Большинство хитридиомицетов развивается эпибионтно, поглощая питательные вещества из хозяина через ризоиды, но есть и эндобионты.

Лучше других изучены хитридиомицеты, поэтому изложенные ниже закономерности взаимоотношений паразитических протистов и водорослей установлены преимущественно для этих организмов. Воздействие паразитов на популяцию водорослей: смещают во времени, или сглаживают пик максимальной численности водорослей, замещают доминирующий вид другим видом, фактически определяя результат конкурентной борьбы субдоминирующих видов. Развитие грибной эпидемии зависит от многих абиотических (температура, свет, питательные вещества, турбулентность) и биотических (консументы) факторов. Эпидемия возможна только в том случае, когда паразиты развиваются быстрее популяции хозяина. Реакция паразитов на абиотические факторы зависит от вида: одни способны заражать хозяина только на свету, другие развиваются и в полной темноте.

Защита водорослей от паразитов: 1) Всегда сохраняется часть популяции (до 10%) водорослей, из которых возрождается новая. 2) Гиперчувствительность: в ответ на заражение запускается механизм апоптоза (White et al., 2000), в результате которого клетка водоросли погибает, а жизненный цикл паразита прерывается. 3) Выделение водорослями нерастворимых альдегидов (фунгицидов), которое известно для некоторых диатомовых в ответ на механическое воздействие. 4) Усиление наружных покровов за счет кремнезема или известняка само по себе не защищает от паразитов, которые не растворяют минеральный скелет, а ищут отверстия или щели, чтобы добраться до плазмалеммы хозяина. Однако уменьшение количества таких отверстий, скажем, до одной на клетку (как у малломонаса, или цист хризифитовых с одним закрытым органической пробочкой отверстием) сильно снижает риск заражения грибами. 5) Из эволюционных защитных механизмов следует отметить повышение генетической изменчивости хозяина (гипотеза Красной Королевы). Хитридиомицеты активнее развиваются на генетически однородной культуре водоросли. Следовательно, внутривидовое генетическое разнообразие хозяина сдерживает эволюцию (адаптивность) паразита. 6) Выделение метаболитов привлекает консументов второго порядка, которые поедают зооспоры грибов. Это показано для дафний, инфузорий (*Cyclidium*), амёб и охромонаса. 7) Развитие некоторых хитридиомицетов замедляется при низких температуре и освещенности, поэтому водоросли могут избегать паразитов, мигрируя в более холодные и менее освещенные глубокие слои воды, где уже начавшийся жизненный цикл паразита не успевает завершиться.

Вблизи водоросли меняется характер движения зооспор хитридиомицетов и афелид, но специфические реакции (хемотаксис), по-видимому, отсутствуют. Паразит-хозяинная специфичность определяется скорее не хемотаксисом, а проявляется на стадии цисты. Чаще поражаются крупные водоросли, пикопланктон свободен от паразитов, но не от вирусов. Размеры спорангия прямо зависят от размеров клетки водоросли.

Дафнии могут развиваться в культуре с несъедобной астерионеллой, питаясь только зооспорами грибов (Kagami et al., 2007). На основании этих экспериментов была описана так называемая «микопетля» – путь утилизации крупных водорослей, которые в отсутствие паразитов оседают на дно, выходя из трофической цепи, а в присутствии хитридиомицетов и афелид значительная часть цитоплазмы водорослей потребляется консументами, переходя в следующие трофические звенья.

Работа поддержана грантом РФФИ № 12-04-01486а.

Г.В. Ким
ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОЭПИЛИТОНА РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ

Институт водных и экологических проблем, г. Барнаул, Россия, kimg@iwep.ru

G.V. Kim
PHYTOEPHILITON FORMATION FACTORS IN DIFFERENT-TYPE WATER BODIES
OF THE UPPER OB BASIN

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, kimg@iwep.ru

Рассматриваемые водные объекты (30 горных и 7 предгорных водотоков, 10 горных озер) относятся к бассейнам рек Катунь, Бия, Чарыш, Алей, являющихся частью бассейна Верхней Оби и расположенных в основном на территории Республики Алтай и прилегающих к ней районах Алтайского края. Длина водотоков варьирует от 5 до 688 км, площадь акватории озер – от 0.002 до 227.3 км², высота положения озер над у. м. от 434 до 2490 м, истоков рек – от 434 до 2400 м, продолжительность половодья – от 10 до 100 дней, годовое количество осадков на территории водосборных бассейнов – от 200 до 1500 мм (Алтайский ..., 1978).

Основной растительной группировкой в исследуемых водных объектах является фитоэпилитон (водоросли каменистого субстрата). Цель работы состояла в выявлении гидрохимических, гидрофизических и биологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на развитие фитоэпилитона. Пробы водорослей отобраны в период открытой воды в 1989–2008 гг. на глубине 0.3–0.5 м по общепринятой методике. Биомассу вычисляли счетно-объемным методом и методом прямого взвешивания макроскопических обрастаний (Левадная, 1986). Гидрохимические, гидрофизические показатели и биомасса зообентоса, полученные одновременно с отбором альгологических проб, любезно предоставлены сотрудниками ИВРЭ СО РАН Т.В. Кирилловой, А.В. Котовщиковым, Л.В. Яныгиной, Л.А. Долматовой, М.И. Ковешниковым, Т.С. Папиной, Е.И. Третьяковой, С.С. Эйрих. Корреляционная связь между показателями проанализирована с использованием ППП MS Excel.

Биомасса водорослей варьировала в пределах 0.0–584 г/м². Четких сезонных и годовых закономерностей в ее изменении не выявлено. Отмечена лишь значительная амплитуда колебания биомассы, связанных с гидрологическим режимом водного объекта. Минимальные величины выявлены в период усиления гидродинамической нагрузки на альгоценозы (паводки, штормы). Так как берега водотоков и озер в основном не затенены прибрежной растительностью, а прозрачность воды (до 15 м в Телецком озере (Селегей, Селегей, 1978), до 7.5 м – в горных озерах (Иогансен и др., 1950), до дна – в водотоках) превышает глубину отбора проб, то лимитирующее влияние света исключено.

Зависимость развития водорослей от концентрации растворенного кислорода также не рассматривали, поскольку его содержание в горных водотоках и литорали озер высоко (до 18 мг/дм³). Содержание углекислого газа (до 16 мг/дм³) не имеет для водорослей лимитирующего значения, поскольку вода исследуемых рек и озер относится к гидрокарбонатному классу. А водоросли для фотосинтеза используют как растворенный CO₂, так и HCO₃⁻.

В исследуемый период температура воды варьировала в пределах 0.1–22.8 °С. Корреляции между биомассой фитоэпилитона и температурой не выявлено. Возможно, понижение температуры от 23 °С до 0 °С не ограничивает развитие водорослей на твердых субстратах. Наиболее интенсивное развитие водорослей отмечено при температуре воды до 10 °С.

Для водотоков бассейна Верхней Оби характерно суточное изменение уровня. В период открытой воды в 1981-1984 гг. число дней, в которые уровень воды менялся в пределах 0.01-2.00 м, составляло на р. Катунь 99.7%, на р. Бия – 99.2, на р. Чарыш – 99.1, на р. Алей – 97.7% (Государственный ..., 1981-1986). Суточное изменение уровня воды характерно и для Телецкого озера (Селегей, Селегей, 1978). В

литорали озер наблюдаются ветроволновые процессы в результате общей циркуляции атмосферы, фенов, горно-долинных ветров. Только в результате фенов количество ветренных дней на Телецком озере составляет более 76% в году (Селегей, Селегей, 1978), в долине р. Катунь – до 49.1%, р. Чарыш – до 21.9% (Модина, 1997).

В период отбора проб скорость течения в горных водотоках варьировала в пределах 0.1–5.3 м/с, в предгорных – 0.1–1.0 м/с. Отмечена достоверно высокая отрицательная корреляция ($R = -0.85$, $p \leq 0.05$) между максимальными за период с апреля по октябрь значениями скорости и биомассы. Течение воды при скорости более 2.0 м/с начинает оказывать разрушающее действие на фитозепилитон.

Общая минерализация воды в горных водотоках и озерах варьировала в пределах 12.0–267.7 мг/дм³, в предгорных водотоках – 169.0–568.0 мг/дм³. Выявлена достоверная положительная корреляция между биомассой и общей минерализацией воды ($R = 0.71$, $p \leq 0.05$). Однонаправленное изменение этих показателей, возможно, определяется тем, что в меженный период увеличение минерализации происходит за счет увеличения доли грунтовых вод, а увеличение биомассы водорослей – в результате стабилизации гидрологического режима. Содержание биогенов в горных водотоках в период исследования составляло: NO_3^- – 0.03–2.60, NO_2^{3-} – 0.01–0.63, PO_4^{3-} – 0.005–0.08, SiO_2 – 1.1–5.2 мг/дм³. Выявлена достоверная отрицательная корреляция между биомассой и содержанием SiO_2 ($R = -0.93$, $p \leq 0.05$), NO_3^- ($R = -0.83$, $p \leq 0.05$), PO_4^{3-} ($R = -0.72$, $p \leq 0.05$). Возможно, это связано с разнонаправленными процессами в горных водотоках: увеличение содержания биогенов в воде происходит в половодье и паводки в результате смыва с территории водосборного бассейна, а уменьшение биомассы – из-за смыва водорослей с поверхности камней при увеличении скорости воды в эти периоды. Значения pH варьировали в пределах 7.2–8.7. Отмечена слабая тенденция к увеличению биомассы при увеличении pH. Биомасса зообентоса составляла 0.1–8.0 г/м². Не было отмечено уменьшения биомассы фитозепилитона при увеличении биомассы водных беспозвоночных.

Итак, в горных водотоках и в литорали озер бассейна Верхней Оби определяющим по воздействию на развитие фитозепилитона, а также постоянным дестабилизирующим фактором является гидродинамический. Выявленная положительная связь между биомассой водорослей эпилитона и содержанием ионов солей в воде и отрицательная – между биомассой и содержанием биогенов объясняется не прямой, а опосредованной (от гидрологического режима) зависимостью.

А.Б. Комиссаров¹, Л.Г. Корнева²

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ ТВЕРЦА И ЕЕ ПРИТОКОВ

¹ Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия, Aleco1@inbox.ru

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, korneva@ibiw.yaroslavl.ru

A.B. Komissarov¹, L.G. Korneva²

PHYTOPLANKTON TAXONOMICAL STRUCTURE IN TVERTSZ RIVER AND ITS TRIBUTARIES

¹Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia, Aleco1@inbox.ru

²I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, korneva@ibiw.yaroslavl.ru

Река Тверца – самый крупный и полноводный приток Иваньковского водохранилища, впадает в него с левого берега на территории г. Твери. Доля реки в водном балансе водохранилища составляет 24% (Григорьева, 2000). Длина – 188 км, площадь бассейна – 6 510 км², расход воды – 60 м³/с (Большая Советская Энциклопедия, 1976); глубина небольшая – 1–2 м на всем протяжении, скорость течения – 0,4–1 м/с, увеличивается от истока к устью, ширина русла изменяется от 12 м в истоке до 90 м в среднем течении и 75 м в нижнем течении (Федоров, 1996). Притоки р. Тверца – рек Логовеж, Малица и Кава впадают в нее с левого берега. Длина р. Лого-

веж – 71 км, площадь бассейна – 765 км². Длина р. Малица – 26 км, площадь бассейна – 238 км². Длина р. Кава – 57 км, площадь бассейна – 489 км².

Материал для исследования собирали в 2009–2011 гг. на всем протяжении р. Тверца и в притоках – в 2–3 км от их устья. Пробы отбирали пластиковым ведром, из которого брали для исследования 0,5 л. Фиксацию осуществляли смешанным реактивом, основной частью которого был формалин (Кузьмин, 1971).

В составе альгофлоры планктона р. Тверца и ее притоков было зарегистрировано 419 видов, разновидностей и форм водорослей из 150 родов, 67 семейств, 26 порядков, 14 классов и 9 отделов. Ядро альгофлоры формировали водоросли четырех отделов – Chlorophyta (168 таксонов рангом ниже рода), Bacillariophyta (97 таксонов), Euglenophyta (50 таксонов) и Cyanoprokaryota (31 таксон), которые объединяли в своем составе 346 таксонов водорослей, что составляло 82% общего флористического разнообразия. Роль других отделов невелика: Cryptophyta (17 таксонов), Streptophyta (17), Chrysophyta (16), Xanthophyta (13) и Dinophyta (10) давали 18% общего списка альгофлоры планктона р. Тверца и ее притоков.

Наиболее разнообразны были представлены порядки Sphaeropleales (95 таксонов), Raphales (55), Euglenales (50) и Chlorellales (45), которые объединяли 245 таксонов водорослей, что составляло 58% общего разнообразия флоры. К ведущим по флористическому разнообразию относились семейства Euglenaceae (50 таксонов), Scenedesmaceae (45), Oocystaceae (25), Naviculaceae (21), Selenastraceae (20), Chlorellaceae (20), Cryptomonadaceae (17), Hydrodictyaceae (16), Nitzschiaceae (16), Fragilariaceae (15), Chlamydomonadaceae (10) – всего 255 таксонов, то есть 61% общего разнообразия альгофлоры планктона.

Список ведущих родов включал *Trachelomonas* Ehrenberg (22 таксона), *Desmodesmus* (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald (15), *Navicula* Bory de Saint-Vincent (15), *Nitzschia* Hassal (15), *Euglena* Ehrenberg (11), *Phacus* Dujardin (11), *Pediastrum* Meyen (10), *Scenedesmus* Meyen (10), *Cryptomonas* Ehrenberg (10) – всего 119 таксонов, или 28% общего таксономического разнообразия. Значимую роль играли роды *Chlamydomonas* Ehrenberg (9 таксонов), *Monoraphidium* Komarkova-Legnerova (9), *Dictyosphaerium* Nageli (8), *Fragilaria* Lyngbye (8), *Lagerheimia* R.Chodat (7), *Tetrastrum* Chodat (6), *Oocystis* Nageli ex A.Braun (6), *Closterium* Nitzsch ex Ralfs (6), *Dinobryon* Ehrenberg (6), *Aulacoseira* Thwaites (5), *Cymbella* C.Agardh (5), *Tetraedron* Kützing (5), *Coelastrum* Nageli (5), *Kephyrion* Pascher (5), *Lepocinclis* Perty (5), *Tribonema* Derbes & Solire (5), которые объединяли 100 таксонов, или 24% общего таксономического разнообразия. Таким образом, ведущие и значимые роды объединяли 219 таксонов водорослей, что составляло 52% общего разнообразия альгофлоры планктона р. Тверца и ее притоков. Общий родовой коэффициент был равен 2.5. Доля одновидовых семейств составляла 31%, одновидовых родов – 43%.

Наибольшим таксономическим разнообразием выделялась р. Тверца, в которой был идентифицирован 381 вид, разновидность и форма водорослей. Далее следовали реки Кава и Логовеж – 154 и 153 таксона соответственно. Наименьшим разнообразием отличалась р. Малица – 140 таксонов. Таксономическая структура была богаче также у р. Тверца, ее притоки мало различались между собой по родовой насыщенности и количеством семейств:

Тверца – 146 родов, 62 семейства, 25 порядков, 14 классов;

Логовеж – 71 род, 37 семейств, 18 порядков, 13 классов;

Малица – 63 рода, 36 семейств, 21 порядок, 13 классов;

Кава – 72 рода, 39 семейств, 20 порядков, 13 классов.

Основу флористического разнообразия альгофлоры планктона р. Тверца формировали зеленые, диатомовые, эвгленовые водоросли и цианобактерии. В ее притоках роль цианопрокариот была незначительной. В реках Малица и Кава их место занимал отдел криптофитовых водорослей, кроме того, в реках Логовеж и Малица

первое место в сообществе занимали диатомеи (в скобках после названия отдела указано количество таксонов рангом ниже рода):

Тверца – зеленые (164), диатомовые (87), эвгленовые (38), цианобактерии (27);
Логовеж – диатомовые (65), зеленые (44), эвгленовые (13);

Малица – диатомовые (52), зеленые (38), эвгленовые (15), криптофитовые (12);
Кава – зеленые (60), диатомовые (47), эвгленовые (13), криптофитовых (13).

Родовой коэффициент был наибольшим у фитопланктона р. Тверца – 2.4, в ее притоках этот показатель был практически одинаковым: р. Логовеж – 2.1, р. Малица – 2.2, р. Кава – 2.1. Доля одновидовых родов в структуре сообществ р. Тверца – 38%, р. Логовеж – 58%, р. Малица – 56%, р. Кава – 60%. Доля одновидовых семейств в структуре сообществ р. Тверца – 26%, р. Логовеж – 40%, р. Малица – 42%, р. Кава – 38%.

Большая Советская Энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1976. Т. 25. Часть 2. 632 с.

Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова И.В. Геоэкология Ивановского водохранилища и его водосбора. Тверь, Конаково: Булат, 2000. 248 с.

Федоров В.В. За щукой, жерехом, лещом. М.: ВНИРО, 1996. 224 с.

Кузьмин Г.В. Фитопланктон Шекснинского водохранилища и сопредельной ему акватории Рыбинского водохранилища // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1971. 25 с.

А.Б. Комиссаров¹, С.А. Серяков²

ФИТОПЛАНКТОН ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС В СЕНТЯБРЕ 2010 Г.

¹ Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия, Aleco1@inbox.ru

² ОАО «Концерн Росэнергоатом» филиал Калининская атомная станция, г. Удомля, Тверская обл., sseryakov@mail.ru

A.B. Komissarov¹, S.A. Seryakov²

PHYTOPLANKTON OF THE KALININ NUCLEAR POWER STATION'S COOLING PONDS

¹Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia, Aleco1@inbox.ru

²Rosenergoatom Concern OJSC, Kalinin Nuclear Power Station, Udomlya, Tver, Russia, sseryakov@mail.ru

В качестве водоемов-охладителей Калининской АЭС используют озера Песьво и Удомля, сток которых зарегулирован плотиной на р. Съеже, вытекающей из оз. Удомля. Водоемы соединены между собой протокой со слабым течением из оз. Песьво в оз. Удомлю. В оз. Песьво сбрасывают сточные воды очистных сооружений г. Удомли и самой АЭС (География..., 1999).

Материал для исследования фитопланктона озер Песьво и Удомля собирали в сентябре 2010 г. в 9 точках: по 4 пробы в каждом озере и одна проба в протоке. Фиксацию и обработку проводили общепринятыми в гидробиологии методами (Кузьмин, 1971, 1975).

В составе фитопланктона идентифицировано 95 видов и разновидностей водорослей из 48 родов, 30 семейств, 16 порядков, 12 классов и 9 отделов: Chlorophyta – 49 таксонов (53%), Bacillaryophyta – 19 (20%), Euglenophyta – 7 (7%); Cryptophyta – 7 (7%); Cyanobacteria – 5 (5%); Chrysophyta – 3 (3%); Streptophyta – 2 (2%); Xanthophyta – 2 (2%); Dinophyta – 1 (1%). Ядро альгофлоры формировали зеленые и диатомовые водоросли, представленные 68 таксонами рангом ниже рода, что составляло 73% общего разнообразия альгофлоры планктона озер:

Наиболее разнообразны были представлены порядки Sphaeropleales (35 таксонов), Chlorellales (11), Raphales (8), Euglenales (7) и Cryptomonadales (7), объединявшие 68 видов и разновидностей водорослей или 72% общего разнообразия альгофлоры планктона. К ведущим по флористическому разнообразию относились семейства Scenedesmaceae (15), Hydrodictyaceae (8), Oocystaceae (8), Euglenaceae (7) и Cryptomonadaceae (7), объединявшие 45 видов и разновидностей водорослей, что составляло 47% от общего разнообразия альгофлоры планктона. Список ведущих родов включал *Desmodesmus* (R. Chodat) S.S.An, T. Friedl & E. Hegewald (8 таксонов),

Trachelomonas Ehrenberg (6) и *Pediastrum* Meyen (5), объединявшие 19 видов и разновидностей, то есть 20% от общего таксономического разнообразия альгофлоры планктона. Общий родовой коэффициент (соотношение числа видов к числу родов) был равен 1.8. Доля одновидовых семейств составляла 30%, одновидовых родов – 40%.

Общая численность и биомасса фитопланктона изменялась в широком диапазоне, при этом станции с наибольшей и наименьшей численностью не везде совпадали с таковыми по биомассе. Численность водорослей в оз. Песьво была наибольшей и составляла 2.0–3.16 млн кл./л при среднем значении 2.32 млн кл./л. В протоке численность падала до 1.57 млн кл./л и в оз. Удомле была наименьшей – 0.69–2.06 млн кл./л при среднем значении 1.20 млн кл./л. Подобное распределение было характерно и для общей биомассы, которая в оз. Песьво была наибольшей – 1.06–1.85 мг/л при среднем значении 1.49 мг/л, в протоке она падала до 0.85 мг/л и в оз. Удомле была наименьшей – 0.55–1.06 мг/л при среднем значении 0.75 мг/л. Максимальная численность и биомасса водорослей были зарегистрированы в месте выпуска сточных вод в оз. Песьво.

Состав доминирующих по численности видов включал в себя *Cryptomonas ovata* Ehrenberg, который доминировал на всех станциях, в то время как виды *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Pediastrum duplex* Meyen и *Chroomonas acuta* Utermöhl были доминантами на отдельных станциях. Аналогичная картина наблюдалась с доминирующим комплексом по биомассе: *Cryptomonas ovata* был доминантом абсолютно на всех станциях, тогда как *Aulacoseira granulata* и *Cryptomonas marssonii* Skuja доминировали лишь на отдельных станциях.

География Удомельского района. Тверь, 1999. 356 с.

Кузьмин Г.В. Фитопланктон: видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 73–78.

Кузьмин Г.В. Фитопланктон Шекснинского водохранилища и сопредельной ему акватории Рыбинского водохранилища // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1971. 25 с.

С.Ф. Комулайнен

БИОТОПИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ АЛЬГОФЛОРЫ ПЕРИФИТОНА В МАЛЫХ РЕКАХ

Институт биологии Кар НЦ РАН, Петрозаводск, Россия, komsf@mail.ru

S.F. Komulainen

HABITAT-RELATED DIVERSITY OF ALGAL FLORA IN THE PERIPHYTON OF SMALL RIVERS

Institute of Biology Karelian SC RAS, Petrozavodsk, Russia, komsf@mail.ru

Структура альгофлоры водоемов и водотоков определяется географическим положением и особенностями ландшафта их водосборов. В тоже время видовой состав альгоценозов в конкретном местообитании в данное время формируется под влиянием факторов прямого или преимущественно прямого действия, контролирующих их прирост и разрушение. Для фитоперифитона рек в качестве таких факторов в первую очередь выделяются: уровень освещения, тип и характер поверхности субстрата и течение. Изучение экологически равнозначных альгоценозов в биотопах, различающихся микрорежимом, необходимо для анализа причин регулирующих их видовой состав, разнообразие, обилие и распределение водорослей. Это в свою очередь позволяет более корректно подойти к проблеме районирования малых рек и организации экологического мониторинга.

Рост и репродукция водорослей определяются светом как источником энергии. Остальные факторы могут регулировать пространственную и временную динамику фитоперифитона, но именно свет предопределяет само существование водорослевых обрастаний в водоеме. Фитоперифитон формируется и функционирует при заметной неоднородности светового режима, часто в условиях недостатка света. Затенение может быть автогенным, когда водоросли, находящиеся в глубине водорос-

левого мата, испытывают недостаток света. Снижение освещенности наблюдается после паводков и пожаров, когда водоросли оказываются погребенными сносимым материалом, при увеличении мутности и усилении турбулентности. Однако наиболее часто оно наблюдается под густым пологом прибрежной растительности.

Водоросли в разной степени реагируют на изменение освещенности, хотя в целом толерантность водорослей перифитона к свету превышает наблюдаемую у планктонных. Крупные водоросли независимо от систематической принадлежности имеют преимущество в конкуренции за свет, а подвижные формы (*Navicula*, *Nitzschia*) регулируют его уровень, мигрируя в верхние слои водорослевого мата. Зеленые и сине-зеленые водоросли доминируют при освещенности более 4500 лк. и обнаруживают четкую зональность, хотя могут образовывать скопления за пределами зоны оптимального фотосинтеза. Диатомеи менее требовательны к свету и доминируют при освещенности < 2200, зональность у них проявляется не столь четко, однако, отмечается преобладание в группировках расположенных ближе к поверхности евперифитонных форм (*Cocconeis*, *Synedra* и *Gomphonema*) с увеличением глубины возрастает количество и видовое разнообразие донных видов (*Navicula*, *Pinnularia* и *Nitzschia*). Красные водоросли (*Batrachospermum*, *Lemanea*) успешно развиваются при продолжительном затенении, занимая в альгоценозах нижние ярусы.

Спектральный состав света доступного для водорослей также изменяется при прохождении сквозь листву и воду. Волны различной длины используются разными таксонами с разной эффективностью: 440–680 нм – зелеными, 570 нм – красными водорослями. Это позволяет предположить существование экологического воздействия качественно разнородного света. Однако достаточно аргументированных, экспериментально подтвержденных данных подтверждающих гипотезу явно недостаточно.

Пятнистое расположение разнообразных субстратов усугубляет неравномерность распределения перифитона. Наибольшего развития обрастания достигают на камнях, древесине и мхах, то есть на субстратах постоянно доступных для колонизации. Эпифитон характеризуется не только большим таксономическим разнообразием, но и более высокими количественными характеристиками. Размер, а, следовательно, и устойчивость, каменистого субстрата, а также шероховатость его поверхности и образование насыщенной биогенами пленка определяют в первую очередь количественные характеристики фитоперифитон. Некоторые виды, особенно крупные (*Lemanea*) и медленно растущие (*Hildenbrandia*), встречаются только на крупных глыбах. Скорость колонизации, разнообразие альгоценозов и их плотность определяется также ориентацией поверхности субстрата и ее «подготовленностью» к заселению, т.к. поселение бактерий, выделение и накопление слизи способствуют удержанию водорослей и облегчают последующую колонизацию.

Разнообразие альгоценозов обрастаний на всех типах субстратов формируют в основном широко распространенные представители родов *Achnanthes*, *Cymbella*, *Gomphonema* и *Fragilaria*. Основу биомассы обрастаний составляет типичный эпифит северных и умеренных широт *Tabellaria flocculosa*, а также нитчатые зигнемовые и эдогониевые водоросли. Эти же виды вместе с рядом донных и еврибионтных форм частые доминанты и на макрофитах. Специфичность состава альгофлоры на мхах связана с постоянным присутствием диатомей родов *Eunotia* и *Pinnularia*, а также десмидиевых водорослей. Характерным эпифитом на мхах является также род *Nostoc*.

Постоянное, однонаправленное движение воды формирует речное русло и структуру фитоперифитона в реках. Увеличение скорости течения оказывает как позитивное, так и негативное влияние на сукцессию фитоперифитона. Это объясняется тем, что течение, оказывая механическое воздействие, одновременно обеспе-

чивает приток биогенов и удаление продуктов диссимиляции. Позитивный эффект течения отмечен по интенсивному росту нитчатых водорослей на порожистых участках рек. Изменение скорости течения влияет и на видовой состав перифитона. При высоких скоростях течения (>0.5 м/с) успешно развиваются только виды, способные выдерживать значительное механическое воздействие. В альгоценозах обрастаний на порогах доминируют нитчатые неветвящиеся формы: *Stigeoclonium tenue*, *Ulothrix zonata*, *Lemanea fluviatilis* и диатомовые водоросли, плотно прижимающиеся к субстрату: *Cocconeis*, *Ceratoneis* и *Cymbella*. А такие виды, как *Lemanea*, только при скорости течения >1 м/сек. достигают максимального развития. Большинство диатомей чаще встречается при скоростях течения от 0.3 до 0.6 м/сек. Только *Cyclotella*, *Navicula* и *Pinnularia* более часто встречаются при скорости течения <0,2 м/с, а *Cocconeis placentula* и *Didymosphenia geminata* достаточно широко распространены при скоростях более 0.8 м/с.

Л.Г. Корнева, В.В. Соловьева, Е.Г. Сахарова
О РАСПРОСТРАНЕНИИ *PERIDINIOPSIS KEVEI* GRIGOR. ET VASAS В ВОДОХРАНИЛИЩАХ
ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, korneva@ibiw.yaroslavl.ru

L.G. Korneva, V.V. Solovyeva, E.G. Sakharova
ON THE DISTRIBUTION OF *PERIDINIOPSIS KEVEI* GRIGOR. ET VASAS
IN THE UPPER VOLGA RIVER RESERVOIRS

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, korneva@ibiw.yaroslavl.ru

Стремительные современные изменения в пресноводных экосистемах, проявляющиеся в повышении температуры воды, минерализации, цветности и трофии, обусловленные как естественными природными (климат), так и антропогенными воздействиями, становятся причиной вселения в них новых видов, адаптированных к изменяющимся условиям среды. Пути их расселения в различных регионах могут быть разные. К чужеродным в настоящее время причисляют около пяти десятков видов фитопланктона, относящихся в основном к цианобактериям и диатомовым водорослям. Основное направление их распространения – с юга на север и у некоторых видов – с севера на юг и юго-восток (Корнева, 2014).

В последние годы привлекает внимание расширение ареала пресноводной динофлагеллаты *Peridiniopsis kevei* Grigor. et Vasas 2001 (Syn.: = *P. corillionii* Leitao, Ten-Hage, Mascarell et Coute, 2001; *P. rhomboides* Krakhmalny, 2002). В 1986–1995 гг. впервые вид описан из притоков р. Тисса на территории Венгрии (Grigorszky et al., 2001). В этот же период он был отмечен в Италии, Германии, Франции, Румынии, Австрии, Словакии и Сербии, Хорватии, Польше (Grigorszky et al., 2001; Kastovskэ et al., 2010). В 1994–1999 гг. вид описан из пресных водоемов Украины как *Peridiniopsis rhomboides* Krakhmalny (Крахмальный, 2001), в 2007 г. обнаружен в Чешской республике, где в 2009 г. встречался в больших эвтрофных водохранилищах (Kastovskэ et al., 2010). Вызывал «цветение» воды в пруду в центральной Японии весной/летом 2003 г. (Horiguchi, 2004; Takano et al., 2008).

Анализ местообитаний *Peridiniopsis kevei* показал, что вид распространен в водоемах и водотоках различного трофического типа (от олиго до эвтрофных), может развиваться в широком диапазоне концентраций общего азота и фосфора, относительно узком диапазоне температуры и щелочности. Обычно встречается летом или ранней осенью при температуре 15.8–26.1 °С. Максимального развития достигает летом и может вызывать «цветение» воды (Grigorszky et al., 2001).

Впервые *Peridiniopsis kevei* был обнаружен нами в РФ в конце июля 1989 г. в реках Молога, Вочкомка, впадающих в Моложский плес Рыбинского водохранилища и в прибрежном мелководье Моложского плеса. Максимального обилия вид достигал в р. Молога, где его численность составляла 144×10^3 кл./л, а биомасса – 1.12 г/м³. В

1998–2001 гг. вид встречался не только в Моложском, но и в Шекснинском плесе (0.5×10^3 кл./л, $0.004\text{--}0.011$ г/м³), а в 2003 г. впервые обнаружен в августе в южной части водоема – в Волжском плесе (24×10^3 кл./л, 0.39 г/м³). В последующие 2004–2005 гг. *Peridiniopsis kevei* встречался с мая по сентябрь в пелагиали Моложского и Волжского плесов ($0.3\text{--}3.0 \times 10^3$ кл./л, $0.004\text{--}0.064$ г/м³). В 2009–2011 гг. вид зарегистрирован на мелководье Волжского плеса Рыбинского водохранилища в летний период, достигая максимального развития в аномально жарком 2010 г., когда его численность варьировала от 5 до 182×10^3 кл./л, а биомасса – от 0.02 до 2.44 г/м³. В 2009 и 2011 гг. на этом участке вид встречался значительно реже и в меньшем количестве: $1\text{--}35 \times 10^3$ кл./л, $0.01\text{--}0.58$ г/м³ и $2\text{--}6 \times 10^3$ кл./л, $0.01\text{--}0.14$ г/м³ соответственно.

В Ивановском водохранилище *Peridiniopsis kevei* впервые обнаружен в августе 1995 г. в Коровинском заливе (2×10^3 кл./л, 0.018 г/м³), а в 1998–2003 гг. он постепенно распространился по всей акватории водоема ($0.5\text{--}1.5 \times 10^3$ кл./л, $0.005\text{--}0.023$ г/м³). В Угличском водохранилище *Peridiniopsis kevei* впервые обнаружен в устье р. Нерли (2×10^3 кл./л, 0.014 г/м³) в первых числах сентября 1998 г., в 2000–2004 гг. расселился по всему водоему ($0.5\text{--}9.0 \times 10^3$ кл./л, $0.006\text{--}0.172$ г/м³). В Горьковском водохранилище вид зарегистрирован в августе и сентябре 2000–2001 гг. ($0.5\text{--}2 \times 10^3$ кл./л, $0.005\text{--}0.029$ г/м³).

Таким образом, *Peridiniopsis kevei* из водохранилищ Верхней Волги впервые обнаружен в северной части Рыбинского водохранилища в конце 1980-х годов. В 1990-е годы он стал расселяться по всей акватории водоема, а также в Ивановское и Угличское водохранилища, а в начале 2000-х – в Горьковское водохранилище. Его появление в водохранилищах по времени совпадает с таковым в водоемах Европы. Наибольшего развития вид достигал в летний период.

Корнева Л.Г. Инвазии чужеродных планктонных водорослей в пресных водах Голарктики (Обзор) // Российский журн. биологических инвазий. 2014. № 1. С. 9–37.

Крахмальный А.Ф. Новый вид рода *Peridiniopsis* Lemm. (Peridinales, Dinophyta) // Альгология. 2001. Т. 11. № 4. С. 468–473.

Grigorszky I., Vasas F., Borics G., et al. *Peridiniopsis kevei* sp. nov., a new freshwater dinoflagellate species (Peridiniaceae, Dinophyta) from Hungary // Acta Botanica Hungarica. 2001. V. 43 (1–2). P. 163–174.

Horiguchi T. Origin and Evolution of Dinoflagellates with a Diatom Endosymbiont // Proceedings of Intern. Symposium on "Dawn of a New Natural History – Integration of Geoscience and Biodiversity Studies", March 5–6, 2004. Sapporo. 2004. P. 53–59.

Kastovská J., Hauer T., Mares J., et al. A review of the alien and expansive species of freshwater cyanobacteria and algae in the Czech Republic // Biological Invasions. 2010. V. 12. № 10. P. 3599–3625.

Takano Y., Hansen G., Fujita D., Horiguchi T. Serial replacement of diatom endosymbionts in two freshwater dinoflagellates, *Peridiniopsis* spp. (Peridinales, Dinophyceae) // Phycologia. 2008. V. 47. P. 41–53.

А.Ф. Крахмальный
ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ ЗАПОВЕДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ УКРАИНЫ
(РАЗНООБРАЗИЕ И ИНДИКАТОРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ)

Институт эволюционной экологии НАН Украины, г. Киев, Украина, krakhmalnyy_a@mail.ru

A.F. Krakhmalnyi
DINOFLAGELLATES OF THE PROTECTED TERRITORIES IN THE RIGH-BANK UKRAINE
(BIODIVERSITY AND INDICATED SIGNIFICANCE)

Institute for evolutionary ecology NAS Ukraine, Kiev, Ukraine, krakhmalnyy_a@mail.ru

Изучение динофлагеллят (Dinoflagellata, Dinophyta) заповедных территорий Правобережной Украины проводилось на протяжении 1986–2008 гг. За это время в озерах Шацкого национального парка нами обнаружено 15 видов Dinoflagellata, относящихся к 11 родам и 8 семействам. Это составляет более половины видов, найденных в Украинском Полесье. Для крупных олиготрофных и слабо-минерализованных озер Шацкого национального парка (Свитязь, Песочное, Перемут) характерно активное развитие динофлагеллят, биомасса некоторых из них в летний период равня-

лась или даже превышала биомассу остального планктона. Особенно показательно в этом отношении озеро Свитязь, наиболее сохранившее свой естественный гидрохимический и гидрологический режимы. Количество выявленных видов в исследованных озерах варьировало от 4 (Перемут) до 11 (Свитязь). Чаще других встречались различные формы *Ceratium hirundinella* (O.F.Müll.) Bergh. Сравнительно высокая численность наблюдалась у *Peridiniopsis elpatiewskyi* (Ostf.) Bourr., *Peridinium willei* Huitf.-Kaas., а также *Gonyaulax apiculata* (Penard) Entz. Для озер с низкой прозрачностью и высоким содержанием биогенных элементов (Пулемецкое, Люцимер, Крымно) характерно резкое уменьшение частоты встречаемости и разнообразия Dinoflagellata. Распределение динофлагеллят в озерах парка крайне неравномерно и зависит от качества воды и степени антропогенного воздействия. Наибольшее видовое разнообразие и частота встречаемости характерна для крупных олиготрофных озер (Свитязь и Песочное). По мере увеличения трофности наблюдается снижение показателей развития динофлагеллят почти до полного их исчезновения (озера Большое, Черное, Климовское, Липовец). В водоемах Полесского заповедника (реки Уборть, Болотница, Перга, Припять, ручьи, озера, болота) обнаружен 21 вид (7 родов, 6 семейств) динофлагеллят, что составляет более половины от найденных в зоне Украинского Полесья. Количество выявленных видов в водоемах заповедника варьировало от 18 (в реке Припять) до 1–2 (в болотах). Наиболее часто встречаются различные формы *C. hirundinella*. Сравнительно высокая численность и встречаемость отмечается у *Peridiniopsis elpatiewskyi* и *Peridinium willei*. На территории заповідника «Росточье» были исследованы озера и ручьи, в которых найдено 7 видов, принадлежащих к 3 порядкам, 3 семействам и 5 родам. В численном отношении здесь преобладают виды рода *Ceratium* Schrank, которые в достаточно большом количестве развиваются в водоемах со стоячей водой. В водоемах Карпатского биосферного заповедника обнаружено 12 видов, относящихся к 8 родам и 5 семействам. В численном отношении преобладают *P. elpatiewskyi*, *Gonyaulax apiculata*, которые в некоторых водоемах Черногорского заповедного массива развиваются в большом количестве летом. Достаточно высокая численность у *P. willei*. В то же время, в заповеднике не удалось обнаружить ни одного экземпляра обычного для других регионов Украины *C. hirundinella*, что, вероятно, связано с горными условиями. Значительную роль в формировании видового состава Dinoflagellata Карпатского биосферного заповедника играют планктонные формы, которые достигают большей численности в прудах и эфемерных водоемах Черногорского заповедного массива. Распределение динофлагеллят в водоемах Карпатского биосферного заповедника неравномерно и варьирует от массовой вегетации в эфемерных водоемах Черногорского заповедного массива до полного их отсутствия в Угольско-Широколужанском массиве, урочище «Кузий» и «Долине нарциссов». Среди исследованных районов заповедника наибольшее количество видов обнаружено в Черногорском заповедном массиве (9), три вида - в Марморожском и один – в «Стужице». Большинство найденных в заповеднике видов динофлагеллят уже не встречаются в водоемах прилегающих территорий. В итоге наших исследований список динофлагеллят Синевирского национального парка пополнен 9 видами и 12 формами (включая номенклатурный тип вида), принадлежащими к 4 порядкам, 5 семействам и 8 родам (род *Cystodinium* Klebs является новым для региона Украинских Карпат). Наиболее многочисленны в водоемах Синевирского национального парка виды родов *Ceratium* Schrank, *Peridinium* Ehr., *Peridiniopsis* Lemm. и *Gymnodinium* Stein. Проведенные исследования водоемов Каневского природного заповедника позволили расширить список динофлагеллят этого района до 16 видов. Dinoflagellata в Каневском заповеднике представлены 4 порядками, 5 семействами и 6 родами, что составляет 35,8% от общего видового состава динофлагеллят лесостепной зоны Украины. В водоемах заповедника «Медоборы» обнаружено 7 видов Dinoflagellata, от-

носящихся к 2 порядкам, 3 семействам и 4 родам. Наиболее представлен род *Peridinium*. В водоемах Карпатского национального природного парка обнаружено 8 видов динофлагеллят, из которых 5 являются новыми для Карпат. Найденные виды сравнительно широко распространены в пределах парка, особенно это касается *Peridinium cinctum* (O.F. Müll.) Ehrenb. Значительную долю в водоемах парка составляют виды, которые предпочитают заросли прибрежных растений и зеленых нитчаток (*Peridinium inconspicuum* Lemmerm. и *P. umbonatum* F. Stein). В водоемах Биосферного заповедника «Дунайские плавни» развивается 26 видов динофлагеллят, относящихся к 11 родам, 8 семействам и 5 порядкам, численно доминируют *Peridinium umbonatum* и *Peridiniopsis elpatiewskyi*. В дельтовых водоемах заповедника распространены солоновато-водные и морские виды динофлагеллят.

Таким образом, в водоемах заповедных территорий Правобережной Украины нами выявлено 55 видов динофлагеллят, из которых *Amphidinium elenkinii* A.K.Skvortzov, *Gymnodinium cnecoides* L.K. Harris, *G. hantzschii* Utermohl, *G. paradoxum* A.J. Schill., *Woloszynskia coronata* (Wolosz.) R.H. Thomps., *W. reticulata* R.H. Thomps., *Glenodinium pulvisculus* (Ehrenb.) F. Stein, *Hemidinium nasutum* F. Stein, *Peridiniopsis berlinense* (Lemmerm.) Bourr., *P. borgei* Lemmerm., *P. cunningtonii* Lemmerm., *P. edax* (A.J.Schill.) Bourr., *P. oculatum* (F.Stein) Bourr., *P. polonicum* (Wolosz.) Bourr., *P. quadridens* (F. Stein) Bourr., *P. rotunda* M.Lebour, *P. thompsoni* (R.H.Thomps.) Bourr., *P. lomnickii* Wolosz., *P. palatinum* Lauterborn, *P. subsalsum* Ostenf., *Diplopsalis acuta* (Apstein) Entz, *Cystodinium steinii* G.A. Klebs, *Hypnodinium sphaericum* G.A.Klebs, *Stylodinium globosum* G.A.Klebs, *Tetradinium intermedium* Geitler, *Prorocentrum compressum* (Ostf.) T.A. Abe являются редкими или новыми для водоемов правобережных заповедников Украины.

Проведенные исследования показали высокую чувствительность динофлагеллят к антропогенному загрязнению и перспективность их использования в качестве индикаторов экологического состояния водоемов заповедных территорий, а также при организации особо охраняемых альгорезерватов.

Д.А. Кузнецова¹, М.С. Куликовский²
К ФЛОРЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ВЬЕТНАМА: АЦИДНЫЕ ВОДОЕМЫ
ПОЛУОСТРОВА КАМРАНЬ

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия,
max-kulikovsky@yandex.ru

D.A. Kuznetsova¹, M.S. Kulikovskiy²
DIATOMS OF VIETNAM: ACIDIC WATER BODIES OF KAMRANH PENINSULA

¹Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, Russia

²I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, max-kulikovsky@yandex.ru

Флора диатомовых Вьетнама, как и соседних стран, практически не изучена. Опубликовано всего лишь несколько работ касающихся как флоры, систематики, так и использования диатомовых для оценки качества поверхностных вод в этом регионе (Foged, 1971; Ohno et al., 1972; Sato et al., 1999; Fujita, Ohtsuka, 2005; Duong et al., 2006; Leelahakriengkrai et al., 2009; Yana, Peerapornpisal, 2009; Suphan, Peerapornpisal, 2009, 2010; Blanco et al., 2012). В тоже время проведение специальных таксономических изысканий показывает, что флора диатомовых этого региона не является типичной, например, европейской и включает большое число новых для науки таксонов (Foged, 1971; Blanco et al., 2012).

Цель работы – изучение флоры диатомовых водорослей одного из водоемов полуострова Камрань. Материалом для исследования послужили пробы бентосных водорослей из кислотного водоема (pH 4.3), собранные в июле 2012 года. Для опре-

деления флористической значимости отдельных родов было просчитано около 500 створок диатомовых водорослей в препарате.

На данном этапе наших исследований выявлены представители из 9 родов: *Brachysira* Kützing, *Chamaepinnularia* Lange-Bertalot & Krammer, *Eunotia* Ehrenberg, *Frustulia* Rabenhorst, *Gomphonema* Ehrenberg, *Navicula* Bory, *Nitzchia* Hassall, *Pinnularia* Ehrenberg, *Stenopterobia* Brébisson. По числу створок доминируют роды *Eunotia* (42% от общего числа створок), *Frustulia* (27,5%) и *Brachysira* (13,3%). Виды, менее обильные, относятся к родам *Pinnularia* (6,9%), *Navicula* (5,0%), *Chamaepinnularia* (2,9%), *Gomphonema* (1,6%), *Stenopterobia* (0,6%). Род *Nitzchia* представлен единичными экземплярами (0,2%).

Приведенные данные о составе альгофлоры кислого водоема полуострова Камрань можно рассматривать как предварительные. Дальнейшие исследования будут посвящены подробному изучению флоры, видового состава, выявлению новых видов в кислых водоемах.

Сбор материала выполнен по тематике Эколан 3.2. Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра.

П.В. Кулизин¹, Е.С. Гусев²
КОЛЛЕКЦИЯ ДЕСМИДИЕВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ИБВВ РАН

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия,
evsergus@yahoo.com

P.V. Kulizin¹, E.S. Gusev²
COLLECTION OF ALGAE FROM THE ORDER DESMIDIALES IN IBIW RAS

¹ Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, Russia

² I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, evsergus@yahoo.com

Коллекция культур водорослей в Институте биологии внутренних вод образована в 50-х годах XX века. В 2003 г. она была зарегистрирована в международной федерации коллекций культур (WFCC) как BOROK WDCM602. Основу коллекции в настоящее время составляют штаммы, выделенные из тропического региона. Формирование коллекции культур тропических водорослей началось в 2011 г., когда были выделены первые штаммы водорослей из проб, собранных в Центральном и Южном Вьетнаме. Также в коллекции представлены штаммы из озера Байкал и прилегающих озер. Основные задачи создания коллекции – изучение биогеографии пресноводных водорослей, а также исследование их морфологического и генетического разнообразия и уточнение филогении различных групп водорослей. К настоящему времени в коллекции насчитывается около 300 клональных альгологически чистых штаммов водорослей порядка Desmiales (класс Zygnematophyceae). Основную часть коллекции составляют водоросли из родов: *Actinotaenium* (Nägeli) Teiling (4 таксона), *Closterium* Nitzsch ex Ralfs (15), *Cosmarium* Corda ex Ralfs (18), *Cosmoastrum* G.M.Palamar-Mordvintseva (4), *Desmidium* C.Agardh ex Ralfs (3), *Euastridium* W. West & G.S.West (1), *Euastrum* Ehrenberg ex Ralfs (11), *Gonatozygon* De Bary (2), *Micrasterias* C.Agardh ex Ralfs (7), *Penium* Brébisson ex Ralfs (1), *Onychonema* Wallich (2), *Pleurotaenium* Nägeli (5), *Spondylosium* Brébisson ex Kützing (1), *Staurastrum* Meyen ex Ralfs (15), *Staurodesmus* Teiling (8), *Xanthidium* Ehrenberg ex Ralfs (2). Формируется каталог коллекции, создается банк геномной ДНК для последующих молекулярных исследований. Проводится изучение морфологии с помощью световой и электронной микроскопии.

А.Ф. Лукницкая

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ К ФЛОРЕ КОНЪЮГАТ (STREPTOPHYTA, ZYGNEMATOPHYCEAE)
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ВАЛДАЙСКИЙ» (НОВГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)**

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Г. Санкт-Петербург, Россия, aliyalukn@mail.ru

A.F. Luknitskaya

**PRELIMINARY DATA TO THE FLORA OF CONJUGATES (STREPTOPHYTA, ZYGNEMATOPHYCEAE)
OF NATIONAL PARK «VALDAISKY» (NOVGOROD REGION, RUSSIA)**

Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia; aliyalukn@mail.ru

Флора пресноводных водорослей северо-запада России остается до настоящего времени слабо изученной. Немногочисленные исследования альгофлоры Новгородской области, которые удалось обнаружить в литературе, носят фрагментарный характер. В основном это гидробиологические работы, в которых, как правило, не сообщалась видовая принадлежность водорослей. Зачастую речь шла только о биомассе всех встреченных водорослей. Национальный парк «Валдайский» создан в 1990 г. по постановлению Правительства Российской Федерации с целью сохранения природного и историко-культурного наследия центральной части Валдайской возвышенности. Площадь парка составляет 158.5 тыс. га. На ней расположено около 300 разнотипных водоемов, болот и заболоченных территорий Новгородской области. Наши предварительные исследования посвящены группе конъюгат (Streptophyta, Zygnematophyceae) Валдайского района парка.

Отдел STREPTOPHYTA, Класс ZYGNEMATOPHYCEAE

Пор. ZYGNEMATALES

Сем. Mesotaeniaceae

Cylindrocystis brebissonii Menegh., *C. crassa* De Bary

Netrium digitus (Ehr.) Itzigs et Rothe f. *digitus*, *N. digitus* var. *rhomboideum* Grönb.

Сем. Zygnemataceae

Mougeotia sp. ster. – (отдельные нити), (несколько видов), (многие клетки на стадии начальной конъюгации).

Spirogyra fluviatilis Hilse – (зигоспора темнокоричневого цвета овальной (эллиптической) формы). Конъюгация лестничная, конъюгационный канал образован обеими клетками. Воспринимающие клетки сильно вздуты. Экзоспорий тонкий, бесцветный, гладкий, Мезоспорий коричневый, извилисто – бороздчатый. Вегетативные клетки – 105.0 мкм длины и 31.5 мкм ширины. Зигоспора – 42.0 мкм длины, 29.4 мкм ширины, *Spirogyra* sp. ster. – (отдельные нити), (несколько видов, отдельные нити).

Пор. DESMIDIALES

Сем. Closteriaceae

Closterium acerosum (Schrank) Ehr., *C. acerosum* f. *minus* (Hantzsch) Kossinsk., *C. aciculare* Tuffen West, *C. acutum* (Lyngb.) Bréb., *C. diana* Ehr., *C. gracile* Bréb., *C. junceum* Ralfs, *C. moniliferum* (Bory) Ehr., *C. parvulum* Näg., *C. striolatum* Ehr., *C. subulatum* (Kütz.) Bréb., *C. venus* Kütz., *Closterium* sp.

Сем. Desmidiaceae

Actinotaenium cucurbita (Bréb.) Teil., *A. cucurbitinum* (Biss.) Teil., *A. tesellatum* (Delp.) Pal.-Mordv.

Bambusina brebissonii Kütz.

Cosmarium asphaerosporum Nordst., *C. botrytis* Menegh., *C. brebissonii* Menegh., *C. connatum* Bréb., *C. depressum* (Näg.) Lund., *C. difficile* Lütkem., *C. granatum* Bréb., *C. humile* (Gay) Nordst., *C. isthmium* West, *C. impressulum* Efv., *C. margaritatum* (Lund.) Roy et Biss., *C. margaritifera* Menegh., *C. meneghinii* Bréb., *C. minimum* W. et G. S. West, *C. nitidulum* De Not., *C. portianum* Arch., *C. protractum* (Näg.) De Bary, *C. punctulatum* Bréb., *C. pygmaeum* Arch., *C. quadratum* Ralfs, *C. quadratum* (Gay) De Tony, *C. rectangulare* Grun., *C. reniforme* (Ralfs) Arch., *C. subprotumidum* Nordst., *C. subtumidum* Nordst., *C. succisum* ? West, *C. turpinii* Bréb., *C. vexatum* West, *C. venustum* (Bréb.) Arch.,

Cosmoastrum dispar (Bréb.) Pal.-Mordv., *C. lapponicum* (Schmidle) Pal.-Mordv. (полуклетка), *C. punctulatum* (Bréb.) Pal.-Mordv., *Cosmoastrum* sp.

Euastrum bidentatum Näg. *E. crassicole* Lund., *E. insulare* (Wittr.) Roy., *E. dubium* Näg., *E. oblongum* (Grev.) Ralfs

Micrasterias crux-melitensis (Ehr.) Hass., *M. rotata* (Grev.) Ralfs, *M. sol* (Ehr.) Kütz., *M. truncata* (Corda) Bréb. var. *truncate*, *M. truncata* f. *semiradiata* (Näg.) Kossinsk.

Pleurotaenium coronatum (Bréb.) Rabenh., *P. minutum* (Ralfs) Delp., *P. trabecula* (Ehr.) Näg.

Raphidiastrum avicula (Bréb.) Pal.-Mordv., *R. longispinum* (Bail.) Pal. – Mordv.

Spirotaenia condensata Bréb.

Staurastrum chaetoceros (Schröd.) G. M. Smith, *S. gracile* Ralfs var. *gracile*, **S. gracile* var. *cyathiforme* W. et G. S. West, *S. leptocladum* Nordst. var. *leptocladum*, *S. longipes* (Nordst.) Teil., *S. pelagicum* W. et G. S. West, *S. paradoxum* Meyen,

S. polymorphum Bréb., *Staurastrum* sp.

Stauroidesmus brevispina (Bréb.) Croasd., *S. cuspidatus* - (Bréb.) Teil., *S. convergens* (Ehr.) Teil., *S. dejectus* (Bréb.) Teil., *S. megacanthus* (Lund.) Thunm. *S. mucronatus* (Ralfs) Croasd., *S. spetsbergensis* (Nordst.) Teil. var. *florina* Teil., *S. subtriangularis* (Bréb.) Teil., *Stauroidesmus* sp.

Tetmemorus brebissonii (Menegh.) Ralfs

Xanthidium antilopaeum (Bréb.) Kütz., *X. armatum* (Bréb.) Rabenh., *X. fasciculatum* Ehr., *X. smithii* Arch. var. *smithii*

Сем. Gonatozygaceae

Gonatozygon aculeatum Hast., *G. monotaenium* De Bary

Сем. Peniaceae

Penium interruptum Bréb., *P. spirostriolatum* Barker

На обследованной территории выявлено 96 видов, 3 разновидности и 2 формы пресноводных водорослей класса *Zygnematophyceae*, принадлежащих к 20 родам (*Actinotaenium*, *Bambusina*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Cosmoastrum*, *Cylindrocystis*, *Euastrum*, *Gonatozygon*, *Micrasterias*, *Mougeotia*, *Netrium*, *Penium*, *Pleurotaenium*, *Raphidiastrum*, *Spirogyra*, *Spirotaenia*, *Staurastrum*, *Stauroidesmus*, *Tetmemorus*, *Xanthidium*). Следует отметить, что два рода (*Spirogyra* и *Mougeotia*) были представлены несколькими видами каждый, которые нельзя было идентифицировать из за отсутствия репродуктивных органов. Таким образом, общее количество видов насчитывает более 100 таксонов. Наиболее богато был представлен род *Cosmarium* (29 видов). На втором месте по численности стоит род *Closterium* (13 видов). Остальные роды насчитывали всего лишь по одному или несколько видов. Следует отметить, что *Staurastrum chaetoceros* (Schröd.) G. M. Smith, впервые отмечается нами для окрестностей г. Валдая и Новгородской области, а встреченную редкую разновидность *Staurastrum gracile* var. *cyathiforme* W. et G. S. West в дальнейшем следует учесть в Красной Книге Новгородской области.

Е.Г. Макеева

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ВОДОРосЛЕЙ СОЛОНОВАТОГО ОЗЕРА БЕЛЕ (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

Государственный природный заповедник «Хакасский», г. Абакан, Республика Хакасия, Россия,
meg77@yandex.ru

E.G. Makeeva

ALGAE TAXONOMIC DIVERSITY OF THE SALTISH BELE LAKE (THE KHAKASIA REPUBLIC)

«Khakassky» State Nature Reserve, Abakan, Republic of Khakasia, Russia

Беле – самое крупное озеро Республики Хакасия. Расположено в пределах Беле-Ширинской бессточной области. В геологическом отношении котловина озера приурочена к полю развития красноцветных обломочных пород ойдановской свиты

верхнего девона и расположена в пределах Белевской тектонической мульды (Жемчужина Хакасии..., 1997). Площадь водного зеркала оз. Беле – 75 км². Береговой выступ в средней части озерной ванны разделяет озеро на два плеса: Большой и Малый (площадью 49.5 и 25.5 км² соответственно). Максимальная глубина Большого плеса – 29 м, Малого – 48.2 м. Минерализация воды – 9-14 г/л. Более минерализован Малый плес. По химическому составу озерная вода относится к хлоридно-сульфатной, магниевно-натриевой (Природный комплекс..., 2013). Значения рН среды лежат в пределах – 8.9-9.6. Гидрологический режим озера подвержен периодическим колебаниям, зависит от величины стока рек Даргужул и Туим, от количества атмосферных осадков, притока подземных вод.

Первые сведения о водорослях оз. Беле содержатся в работах Т.Г. Поповой (1946, 1947), где приведены 53 вида водорослей из пяти отделов (Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Euglenophyta). В период 1978–1980 гг. изучался сестон оз. Беле (Данилова, Волкова, 1988), получены сведения о биомассе водорослей, относительном содержании фитопланктона в общем весе сестона, данные об учете видового разнообразия водорослей не указаны. Материалом для настоящей работы послужили 187 проб планктона, бентоса, перифитона, собранных с мая по сентябрь 2006–2012 гг.

На основе оригинальных материалов и литературных данных список водорослей оз. Беле насчитывает 257 видов, представленных 286 видами, разновидностями и формами, относящихся к 120 родам, 63 семействам, 9 отделам. Основу альгофлоры озера составляют диатомовые (53.7% общего видового состава), цианопрокариоты (23.7%) и зеленые водоросли (14.8%). Суммарное видовое разнообразие отделов Chrysophyta, Xanthophyta, Cryptophyta, Dinophyta, Euglenophyta, Charophyta – 7.8% общего видового состава флоры. Среди семейств наиболее разнообразны Bacillariaceae (содержит 11.3% от общего видового состава), Naviculaceae (7.8%), Pseudanabaenaceae (5.4%), Phormidiaceae (4.7%), Fragilariaceae (4.3%), Merismopediaceae, Cymbellaceae, Catenulaceae, Oocystaceae (по 3.1%), Oscillatoriaceae, Mastogloiaceae, Surirellaceae (по 2.7%). Данные семейства охватывают 54.0% от общего числа видов. Число одновидовых семейств составляет 41.3%. На уровне родов наибольшим разнообразием характеризуются: *Nitzschia* (8.9% от общего видового состава), *Navicula* (5.8%), *Phormidium* и *Amphora* (по 3.1%), *Mastogloia* (2.3%), *Spirulina*, *Gomphonema*, *Tryblionella*, *Surirella*, *Oocystis* (по 1.9%). В сумме эти рода содержат 32.7% общего числа видов. Число одновидовых родов – 59.2%.

Выявлена разница в таксономическом составе водорослей плесов оз. Беле. В Малом плесе обнаружено 123 вида, разновидности и формы водорослей из 6 отделов: Bacillariophyta (65.9% от общего числа видов, разновидностей и форм), Cyanoprocarota (17.9%), Chlorophyta (10.5%), Streptophyta (3.3%), Euglenophyta (1.6%), Chrysophyta (0.8%). Водоросли Большого плеса более разнообразны в таксономическом отношении: здесь выявлено 242 видовых и внутривидовых таксона водорослей из 9 отделов. Наибольшим разнообразием, как и в Малом плесе, отличались отделы Bacillariophyta (56.6% от общего числа видов, разновидностей и форм), Cyanoprocarota (23.3%), Chlorophyta (13.7%), на отделы Streptophyta, Chrysophyta, Cryptophyta, Euglenophyta, Xanthophyta, Dinophyta приходилось 6.5% видового состава. Коэффициент флористической общности Серенсена-Чекановского для Малого и Большого плесов оз. Беле составил 0.44. Определено таксономическое разнообразие водорослевых сообществ и состав доминантов. В фитопланктоне оз. Беле идентифицировано 122 видовых и внутривидовых таксона водорослей, из них: 49 видов, разновидностей и форм диатомовых, 31 – зеленых, 28 – синезеленых, по 4 – эвгленовых и стрептофитовых, 3 – золотистых, 2 – криптофитовых и 1 вид динофитовых водорослей. Доминантами планктона в разный период являлись: *Oocystis submarina*

Lagerh., *Cyclotella comta* (Ehrenb.) Kütz., *Trichormus variabilis* (Kütz. ex Bornet et Flahault) Kombræk et Anagn., *Snowella lacustris* (Chodat) Kombræk et Hind., *Microcystis salina* (Woron.) Elenkin, *Romeria elegans* (Wolosz.) Koczw., *Phormidium chalybeum* (Mert. ex Gomont) Anagn. et Kombræk, *Sphaerocystis planctonica* (Korschikov) Bourr., *Dictyosphaerium subsolitaria* V. Goor.

Фитобентос оз. Беле представлен 165 видами, разновидностями и формами водорослей из отделов Bacillariophyta (121), Cyanoprocaryota (30), Chlorophyta (9), Streptophyta (5). Доминировали: *Ctenophora pulchella* (Ralfs ex Kütz.) D.M. Williams et Round, *Cladophora glomerata* (L.) Kütz., *Diatoma tenuis* C. Agardh.

В составе обрастаний оз. Беле найдено 110 видов, разновидностей и форм водорослей из 6 отделов: Bacillariophyta (67), Cyanoprocaryota (27), Chlorophyta (8), Streptophyta (5), Chrysophyta (2), Xanthophyta (1). Виды *Gloeocapsopsis crepidinum* (Thur.) Geitler ex Kombræk, *Gomphonema salinarum* Pant., *Calothrix parietina* (Ndgeli) Thur., *Rivularia bullata* (Poir) Berk. ex Bornet et Flahault доминировали в обрастаниях камней; *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bert. и *Botryococcus braunii* Kütz. преобладали на *Potamogeton pectinatus* L. и *Ruppia maritima* L. Доминантами в обрастаниях *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steud. выступали *Ctenophora pulchella*, *Diatoma tenuis*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Cocconeis scutellum* var. *parva* (Grunow) Cleve, *Cladophora glomerata* и *C. fracta* (O. Müller ex Vahl) Kütz. Состав альгофлоры оз. Беле определяется комплексом факторов: значительными площадью и глубиной, повышенной минерализацией воды. Наибольший вклад в таксономическое разнообразие водорослей вносят диатомеи и цианопрокариоты.

Данилова И.В., Волкова Н.И. Сестон солоноватого озера Беле // Актуальные проблемы современной лимнологии: Тез. докл. I Всесоюз. конф. молодых ученых по проблемам современной лимнологии. Л.: Изд-во ГО СССР, 1988. С. 80–81.

Жемчужина Хакасии (Природный комплекс Ширинского района). Абакан: Изд-во ХГУ им. Н.Ф. Катанова, 1997. 180 с.

Попова Т.Г. К познанию альгофлоры водоемов северной Хакасии. Ч. I. Альгофлора водоемов Ширинской (Качинской) степи // Изв. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Сер. биол. 1946. № 1. С. 41–72.

Попова Т.Г. К познанию альгофлоры водоемов северной Хакасии. Ч. II. Водоросли Юсо-Ширинской и Ачинской степей // Изв. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Сер. биол. 1947. Т. 2. Вып. 1. С. 73–100.

Природный комплекс и биоразнообразие участка «Озеро Беле» заповедника «Хакасский» / Коллектив авторов. Абакан: Хакасское книжное изд-во, 2013. 336 с.

Е.И. Мальцев, Д.Н. Негруля
ВОДРОСЛИ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ
ЗАПОРОЖСКОЙ ОБЛАСТИ (УКРАИНА)

Мелитопольский государственный педагогический университет им. Богдана Хмельницкого,
г. Мелитополь, Украина, mz_5@ukr.net

Ye.I. Maltsev, D.N. Nehrulia

ALGAE OF FOREST FLOOR IN ARTIFICIAL PLANTINGS IN ZAPORIZHIA REGION (UKRAINE)

Bogdan Chmelnitskiy Melitopol State Pedagogical University, Melitopol, Ukraine, mz_5@ukr.net

Рассматривая лес с биогеоценотической точки зрения, его следует понимать, как совокупность определенных биогеоценозов, одним из которых является горизонт аккумуляции мертвого органического вещества (Карпачевский, 1981). Накапливаясь на поверхности почвы в лесу, остатки листьев, веток, коры и плодов формируют лесную подстилку. Однако подстилка – это не только место деструкции растительных остатков, в ней также наблюдается функциональная деятельность микроскопических водорослей, некоторые из которых способны к усвоению молекулярного азота, что в целом активизирует микробиологическую деятельность, способствует обогащению подстилки физиологически активными веществами: витаминами, ферментами и гормонами (Некрасова, 1982).

Лесная подстилка, как среда обитания водорослей, обладает целым рядом специфических условий, которые отличают ее от аэрофильных и эдафофильных местообитаний: характеризуется активными процессами ее минерализации, чаще всего имеет вертикальную неоднородность – поверхностные горизонты состоят из свежих растительных остатков, которые ближе к почве изменяются однородной разложившейся органической массой. Поэтому целью работы было установление экологических особенностей альгосообществ лесной подстилки разных искусственных насаждений Запорожской области (Украина).

Исследования водорослей лесной подстилки проводили в насаждениях *Quercus robur* L. *Pinus pallasiana* D. Don и *Robinia pseudoacacia* L. Старо-Бердянского и Алтагирского лесов, а также в парке-памятнике садово-паркового искусства местного значения «Лесопитомник» в г. Мелитополе (Запорожская обл.) на протяжении 2011-2012 гг. Отбор подстилки проводили посезонно согласно методике, предложенной И.Г. Вышинской с соавторами (Вышинская, 2010), с использованием прямоугольного шаблона 20x20 см на пяти пробных площадях в 5 точках на каждой, где отсутствовали крупные ветви и скопление коры, на расстоянии около 1-1,5 м от ствола дерева. Лесная подстилка отбиралась по горизонтам: L (A0¹) – свежие, еще не разложившиеся листья, кора и плоды, F (A0²) – опад, который уже испытал разрушение, но отдельные компоненты сохранили первоначальную структуру. Отобранную подстилку доводили до абсолютно сухого состояния, взвешивали для определения запаса сухого органического вещества (Вышинская, 2010). Видовой состав водорослей изучали на основе культур со стеклами обрастания и агаровых. Доминанты и субдоминанты определяли по шкале, предложенной Г.Г. Кузяхметовым и И.Е. Дубовик (2001). Жизненные формы водорослей выделены согласно рекомендациям Э.А. Штиной и М.М. Голлербаха (1976). Таксономическая структура водорослей предоставлена в соответствии с работой И.Ю. Костикова с соавторами (Водоросли, 2001).

В лесной подстилке искусственных насаждений степной зоны Украины обнаружено 108 видов водорослей, среди которых Chlorophyta – 66 видов (61%), Cyanophyta – 15 (14%), Xanthophyta – 14 (13%), Bacillariophyta – 7 (7%) и Eustigmatophyta – 5 (5%), относящихся к 8 классам, 18 порядкам, 40 семействам и 59 родам.

Видовое разнообразие альгосообществ в разных насаждениях различается. Группировка дубовой подстилки состояла из 43 видов водорослей: Chlorophyta – 26 видов (60.5%), Cyanophyta – 9 (20.9%), Xanthophyta – 4 (9.3%), Bacillariophyta – 3 (7.0%) и Eustigmatophyta – 1 (2.3%). В белоакациевой подстилке отмечено 35 видов водорослей: Chlorophyta – 24 вида (68.5%), Cyanophyta – 3 (8.6%), Xanthophyta – 3 (8.6%), Bacillariophyta – 3 (8.6%) и Eustigmatophyta – 2 (5.7%). Сосновая подстилка характеризовалась наличием 71 вида водорослей: Chlorophyta – 42 (59.2%), Xanthophyta – 11 (15.5%), Cyanophyta – 7 (9.9%), Bacillariophyta – 7 (9.9%) и Eustigmatophyta – 4 (5.5%). В целом для альгосообществ лиственной подстилки характерно высокое разнообразие водорослей из отдела Chlorophyta (60,5-68,5% от общего разнообразия). Особенностью видового состава водорослей дубовой подстилки является увеличение числа представителей Cyanophyta, а сосновой – Xanthophyta.

Систематическую структуру альгофлоры определяют представители 14 семейств, количество видов в которых превышает среднее их число в семействе (2.7 вида): Chlamydomonadaceae – 12 видов, Myrmeciaceae, Pleurochloridaceae – 9, Chlorococcaceae – 7, Phormidiaceae – 6, Stichococcaceae – 5, Nostocaceae, Trebouxiaceae – 4, Chlorellaceae, Chlorosarcinaceae, Choricystidaceae, Eustigmataceae, Klebsormidiaceae, Pseudanabaenaceae – по 3. Преобладающие по числу видов семейства объединяют 56.5% всех видов водорослей, обнаруженных в подстилке ле-

сов района исследования. По числу видов, превосходящих другие, в дубовых насаждениях отмечено 9 семейств, белоакациевых – 10, а сосновых - 6 (среднее число видов в семействе 1.7, 1.5 и 2.2 соответственно).

Анализ экологической структуры водорослей лесной подстилки показал, что они состоят, прежде всего, из эдафотфильных видов (91% в дубовых насаждениях, 97% – в белоакациевых и 90% - в сосновых). Преобладают виды Ch-жизненной формы – устойчивых к экстремальным условиям мест обитания. Отмечается большое разнообразие видов X- и C-форм, отличающихся влаголюбием и теневыносливостью. Формула экологической структуры альгогруппировок (Алексахина, Штина, 1984), которая отражает разнообразие каждой жизненной формы, для дубовых насаждений имеет вид: $Ch_{12}X_{12}P_4amph_2C_3CF_3H_3B_2hydr_2$ (43), сосновых – $Ch_{20}X_{16}C_{13}P_5B_4H_4hydr_4amph_3CF_2$ (71), а для белоакациевых - $Ch_{15}X_8C_4B_2H_2P_2CF_1hydr_1$ (35), где жизненные формы располагаются в порядке убывания их доли. Следует отметить увеличение количества представителей нитчатых азотфиксирующих сине-зеленых водорослей из CF-формы в дубовой подстилке, также в ней наблюдается повышение доли видов X-формы.

Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984, 150 с.
Вишенська І.Г., Жовтенко А.А., Дідух Я.П. Методичні аспекти визначення енергетичного запасу лісової підстилки // Наукові записки. Біологія та екологія. 2010. Т. 106. С. 40–44.
Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. Москва: Лесн. пром-сть, 1981. 264 с.
Костіков І.Ю., Романенко П.О., Демченко Є.М. та ін. Водорості ґрунтів України (Історія й методи дослідження, система, конспект флори). Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 300 с.
Кузяхметов Г.Г., Дубовик И.Е. Методы изучения почвенных водорослей: Учебное пособие. Уфа: Изд-во Башкирского ун-та, 2001. 60 с.
Некрасова К.А. Почвенные водоросли и беспозвоночные как компоненты биогеоценоза // Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. Алма-Ата. 1982. С. 51–53.
Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

В.И. Мартемьянов¹, Е.Е. Ежова²
ПОКАЗАТЕЛИ ВОДНО-СОЛЕВОГО ОБМЕНА У ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ
В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, martem@ibiw.yaroslavl.ru.

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Калининград, Россия.

V.I. Martemyanov, E.E. Ezhova*
PARAMETERS OF THE WATER-SALT EXCHANGE AT WATER PLANTS NATURALLY

¹ I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, Russia, martem@ibiw.yaroslavl.ru

² P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad, Russia, igelinez@gmail.com

Минеральный состав воды является важнейшим экологическим фактором, который существенно влияет на продуктивность, развитие, рост, устойчивость, физиологические и биохимические процессы гидробионтов. Ионы натрия, калия, кальция, магния являются необходимыми элементами для осуществления различных сторон жизнедеятельности растений. Недостаток ионов калия в растениях вызывает остановку роста, нарушает баланс азота и сахара, усиливает восприимчивость к возбудителям заболеваний. Для растений особое значение имеют ионы магния. Входя в структуру хлорофилла, он выполняет ключевую роль в процессах фотосинтеза. Дефицит этого иона в растениях существенно снижает скорость фотосинтеза. Магний оказывает влияние на транспортные процессы ионов водорода, калия и кальция через плазматические мембраны растительных клеток, принимает активное участие в функционировании многих ферментов, включая полимеразы РНК, АТФ-азы, протеинкиназы, фосфатазы, глутатион-синтетазы, и карбоксилазы. Показано важное значение ионов магния во многих других биохимических реакциях в клетках организма растений.

Гидробионты находятся в воде в погруженном состоянии. Содержание ионов натрия, калия, кальция, магния в организме растений выше, чем в пресной воде. Наличие концентрационных и электрохимических градиентов между организмом и средой обуславливает диффузию электролитов из растений в пресную воду. Водоросли обладают специализированными структурами (ионные каналы и насосы), осуществляющими транспорт ионов из внешней среды в организм. В результате происходит компенсация потерь, способствуя поддержанию ионного гомеостаза. Кроме этого осуществляется дополнительное поступление ионов в организм необходимое для развития, роста и реализации воспроизводства. Для понимания механизмов водно-солевого обмена у водных растений, необходимы данные по поддержанию концентрационных и электрохимических градиентов между организмом и средой в природных условиях.

Цель настоящей работы – определить содержание различных фракций воды, натрия, калия, кальция, магния в организме ряда видов водных растений в природных условиях и среде их обитания с разной степенью минерализации.

Объектом исследования послужили водные растения, обитающие в водоемах Калининградской области соленостью 0.04-3.5 г/л. Растения были собраны в период с 6 по 8 июня 2013 г. Изучены следующие виды: элодея канадская *Elodea canadensis* L.; роголистник темно-зеленый *Ceratophyllum demersum* L.; водяная сеточка *Hydrodictyon reticulatum* L.; кладофора слабая *Cladophora fracta* (O.F.Müller ex Vahl) Kützing, 1843; ульва пролиферирующая *Ulva prolifera* O.F.Müller, 1778; ульва кишечница *Ulva intestinalis* L.; кладофора сборная *Cladophora glomerata* L., рдест гребенчатый *Potamogeton pectinatus* L., рдест пронзеннолистный *Potamogeton perfoliatus* L. Материал по *Spirogyra* sp. и элодее канадской представлен литературными данными, полученными для водорослей из водоемов Ярославской области.

Представлены данные по содержанию различных фракций воды, натрия, калия, кальция, магния в организме 10 видов водных растений и среде их обитания. Уровень общей концентрации воды существенно различался у разных видов водных растений, характеризуя разную способность того или иного вида к накоплению сухой массы. Внутри вида содержание общей воды в организме зависело от среды, увеличиваясь при экстремальных условиях. Концентрация свободной воды в организме в зависимости от вида растений и условий среды проявляла сходные закономерности с общей фракцией. Доля связанной воды различалась у разных видов растений, составляя предел 0.17–2.57% и зависела от условий среды и физиологического состояния организма. Содержание связанной воды в организме не зависело от сухой массы, отражая долю веществ способных связывать воду. Концентрация натрия в растениях зависела от физиологического состояния, вида и экологических условий среды. Изъятие водорослей из среды и транспортировка их в лабораторию в емкости с солоноватой водой, вызывали стресс, приводя к существенному повышению содержания натрия в организме. Концентрация натрия в организме водорослей, обитающих в пресной воде, была выше, чем в среде обитания, указывая на присутствие механизмов транспорта этого иона из воды. Растения, обитающие в солоноватой воде, имели более низкий уровень натрия в организме по отношению к среде. Это свидетельствует о наличии механизмов изгнания натрия из организма. Способность *C. fracta* поглощать натрий из пресной воды и выводить этот ион из организма, обитая в солоноватой среде, показывает, что эти водоросли являются эвригалинным видом, выдерживающим широкий диапазон солености. Изученные виды водных растений по соотношению калия и натрия в организме разделились на три группы. У *Spirogyra*, *U. intestinalis*, *P. perfoliatus* концентрация калия в организме поддерживалась на низких уровнях, которые были достоверно меньше по отношению к натрию. Содержание калия и натрия в организме *P. pectinatus* не различалось между собой. Концентрация калия в организме *E. canadensis*, *C. demersum*, *H. reticulatum*, *U.*

prolifera, *U. intestinalis*, *C. fracta*, *C. glomerata* поддерживалась на более высоких уровнях, которые были достоверно больше по отношению к натрию. Концентрация калия в организме изученных видов растений была существенно выше, чем в среде обитания, указывая на наличие механизмов способных поглощать ионы калия из воды. Содержание кальция в организме различных видов водных растений, как правило, поддерживалось на высоких значениях, которые существенно различались между собой. При этом наибольшие межвидовые различия проявились у водорослей в пресной воде. На уровне вида концентрация кальция в организме зависела от экологических условий среды. У *E. canadensis* в разных условиях уровень кальция в организме различался в 3.6 раза. У *C. fracta* живущей в пресной воде содержание кальция в организме было в 2 раза больше, чем у этой водоросли в солоноватой воде. В состоянии стресса уровень кальция достоверно снизился через 1 сут в организме *U. intestinalis* и *C. glomerata*, указывая на зависимость от физиологического состояния. Содержание магния в организме близкородственных видов *C. fracta*, *C. glomerata* и, соответственно, *P. pectinatus*, *P. perfoliatus* обитающих в сходных условиях не различалось между собой. Межвидовые различия проявились у водорослей неродственных видов. Внутри вида уровень магния в растениях зависел от условий среды обитания. В состоянии стресса у *U. intestinalis* и *C. glomerata* наблюдалась тенденция к повышению уровня магния в организме. Результаты показывают, что содержание магния в водных растениях зависит от вида, условий среды и физиологического состояния организма.

Е.Ю. Митрофанова

СТОМАТОЦИСТЫ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЕ КРУПНОГО ПРИТОКА ГЛУБОКОГО ОЛИГОТРОФНОГО ОЗЕРА ТЕЛЕЦКОЕ (АЛТАЙ)

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, emit@iwep.ru

E.Yu. Mitrofanova

CHRYSOPHYCEAN STOMATOCYSTS NEAR THE MOUTH ZONE ONE OF THE LARGE TRIBUTARIES IN DEEP OLIGOTROPHIC LAKE TELETSKOYE (ALTAI)

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, emit@iwep.ru

В литорали крупных и глубоких озер развиваются разнообразные альгоценозы ввиду наличия здесь для водорослей отличных от пелагиали условий по температуре, прозрачности, а также обеспеченности биогенами. В крупных заливах такие отличия бывают особенно ощутимы из-за сглаживания здесь ветро-волновой нагрузки. Вследствие этого на таких участках возможно «сосредоточение жизни» (Зарубина и др., 2005). В отличие от защищенной литорали заливов открытая литораль озера более подвержена действию волн, индуцированных как естественными (ветер), так и факторами антропогенного характера (судоходство), которое особенно развито на крупных озерах (Hofmann et al., 2011). Кроме того, несколько отличительные условия от остальной озерной литорали наблюдаются и в устье крупных притоков. Телецкое озеро – глубокий олиготрофный водоем, расположенный на юге Западной Сибири в горах Алтая, интересен именно тем, что состав и обилие водорослей в устье некоторых притоков имеют существенные отличия от таковых характеристик как в литорали крупных заливов, так и пелагиали данного водоема. Целью настоящего исследование стало изучение состава стоматоцист золотистых водорослей в планктоне и обрастаниях в устье одного из крупных притоков озера, р. Кокши. Данный водоток впадает на восточном берегу озера, примерно на середине его меридиональной части (озеро морфометрически поделено на широтную мелководную и меридиональную глубоководную части). Река Кокши длиной 37 км имеет площадь водосбора 456 км², что составляет 2.2% от общей площади водосборного бассейна озера (Селегей, Селегей, 1978). Отличительной особенностью данного притока является заболоченность территории его водосбора и большая приустьевая зона с валунно-

песчаным островом в дельте реки, на котором произрастают сосны. Цисты золотистых водорослей являются обязательным компонентом планктона и перифитона холодноводных водоемов. Они разнообразны по форме, размерам и наличию образований на поверхности (шипы, гребни и др.). Как отмечают (Heikki, 1993), большое разнообразие стоматоцист в водоемах более обусловлено различными факторами среды, которые оказывали влияние на клетку в момент цистообразования. Разные виды золотистых водорослей могут продуцировать цисты, трудно различимые по внешнему виду. Особенно это характерно для менее орнаментированных типов цист. Поэтому в водоемах обычно выявляют больше морфотипов цист, чем видов золотистых водорослей.

В июле 2011 г. при изучении проб фитопланктона и фитоперифитона на приустьевых участках основных притоков и в пелагиали Телецкого озера с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N были выявлены разнообразные морфотипы стоматоцист золотистых водорослей. Особенно оригинальным и богатым был состав стоматоцист в обрастаниях камней именно в устье р. Кокши, где было отмечено 159 стоматоцист, относящиеся к 15 морфотипам. Большинство стоматоцист было с рельефным рисунком и имело различные выросты, некоторые морфотипы были неправильной формы. Ранее в планктоне и бентосе озера многие из них не встречены, один морфотип – не упоминается в Атласе цист золотистых водорослей, известных для современных альгоценозов и донных отложений Байкала (Фирсова, Лихошвай, 2006), но встречен в лесных отложениях бассейна р. Лены (Gilbert et al., 1997). В пробе обрастаний из р. Кокши был выявлен морфотип, который не приводится в международной электронной базе данных по стоматоцистам (<http://www.stomatocysts.unibe.ch/stDatabase-public.php>). При сравнении состава стоматоцист перифитона в устье р. Кокши и планктона в пелагиали напротив устья данного водотока были отмечены только два схожих морфотипа, т.е. цисты в фитоперифитоне были значительно разнообразнее по составу, чем в планктоне. Гидрохимические данные, полученные параллельно Е.И. Третьяковой и А.Б. Соколовой (ХАЦ ИВЭП СО РАН) в 2011 г., специфических особенностей данного водотока по сравнению с остальными участками озерной литорали и пелагиали не выявили. Содержание растворенного кислорода, БПК₅, концентрации ионов аммония, фосфора, кремния, железа, хлора, сульфат-иона не выходили за пределы средних значений для озера в этот срок отбора. Только концентрация нитрат-иона в устье р. Кокши превысила среднюю для озера величину в момент отбора – 2.80 и 1.48 ± 0.15 мг/л, соответственно. Преобладание нитрат-ионов указывает на протекание в водах озера интенсивных процессов нитрификации в условиях избыточного кислородного насыщения.

Более детальное исследование планктона и перифитона в устье р. Кокши, а именно в реке до дельты, в каждом из рукавов и озере после впадения притока, а также в пелагиали в районе притока, позволит определить локальность образования цист или, напротив, выявить влияние водоемов и водотоков водосборного бассейна в привносе цист в приустьевой участок притока. Вместе с основными биогенными элементами будет исследован и микроэлементный состав.

Зарубина Е.Ю., Яныгина Л.В., Бурмистрова О.С. и др. Литоральные биоценозы как один из факторов устойчивости экосистемы Телецкого озера // Ползуновский вестник. 2005. № 4. Ч.2. С.201–207.

Селегей В.С., Селегей Т.С. Телецкое озеро. Л: Гидрометеоиздат, 1978. 142 с.

Фирсова А.Д., Лихошвай Е.В. Атлас цист хризифитовых водорослей озера Байкал. Новосибирск: Наука, 2006. 148 с.

Gilbert, S., Zeeb, B.A., Smol, J.P. Chrysophyte stomatocyst flora from a forest peat core in the Lena River Region, northeastern Siberia // Nova Hedwigia. 1997. V. 64. P. 311–352.

Heikki S. Reply to Sandgren and Smol: further discussion on chrysophyte cyst taxonomy // J. Paleolimnol. 1993. № 9. P. 63–68.

А.Н. Неретина¹, О.Г. Гришуткин², М.Г. Кэмоин³
ДЕСМИДИЕВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ (DESMIDIALES, VIRIDIPLANTAE) ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА
«ЕЛЬНИЧНОЕ ОЗЕРО» (МОРДОВИЯ, ЕВРОПЕЙСКАЯ ЧАСТЬ РОССИИ)

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия,
neretina-anna@yandex.ru

² Мордовский государственный природный заповедник им. П.Г. Смидовича, Мордовия, Россия,
grishutkinog@rambler.ru

³ Институт морских исследований, Филиппинский университет, Дилиман, Филиппины,
mg.camoying@gmail.com

A.N. Neretina¹, O.G. Grishutkin², M.G. Camoying³
DESMIDS (DESMIDIALES, VIRIDIPLANTAE) FROM THE BOG «ELNICHNOE OZERO» (MORDOVIYA,
EUROPEAN RUSSIA)

¹ A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Moscow, Russia, neretina-anna@yandex.ru

² Mordovian Natural Reserve named after P.G. Smidovich, Pushta, Republic Mordoviya, Russia,
grishutkinog@rambler.ru

³ The Marine Science Institute, University of the Philippines, Diliman, the Philippines,
mg.camoying@gmail.com

The bog «Elnichnoe Ozero» is located in the National Park «Smolnyi» (Mordoviya, European Russia). Different fens, bogs and wetlands occupy about 1013.8 hectares of the National Park «Smolnyi» total area (Grishutkin, 2008). *Sphagnum*-bogs of this region are particularly interesting places, because they are situated on the subarea of the northern forest-steppe – the south boundary of distribution for *Sphagnum*-bogs in the European part of Russia. Southward of Mordoviya the *Sphagnum*-bogs occur very rarely. In the majority cases, the bogs of National Park «Smolnyi» are entirely covered by *Sphagnum*-mosses and deprived of areas with open water. However the bog «Elnichnoe Ozero» is an exception from this rule. An overgrowing relict lake (depth of 2.6) surrounded by the *Sphagnum*-carpet occupies the middle part of this bog. The bog «Elnichnoe Ozero» has a relatively small area (about 4.2 hectares), but harbours many rare species of boreal higher plants which are included in the Regional Red List: *Carex limosa* L., *Drosera rotundifolia* L., *Hammarbya paludosa* (L.) O. Kuntze, *Oxycoccus palustris* Pers., *Scheuchzeria palustris* L. (Krasnaya kniga..., 2003). In the lake, a rare macroalga *Batrachospermum turfosum* Bory de Saint-Vincent was found (Redkie., 2005).

Microalgae from this bog were the subject of special investigation only once (Orlova et al., 2008). However, there was no detailed research of the desmid diversity. At the same time it is well known that desmids are an important component of algal associations in the bogs and are frequently one of the dominant groups in these ecosystems (Shtina et al., 1981). Hence, our current investigation aimed to continue the previous work of Orlova et al. (2008) and provide a detailed characterization of the desmid species diversity in the bog «Elnichnoe Ozero».

As a material for our study, we used the samples collected in July 2011 (2 samples were taken separately by squeezing out *Carex* spp. and *Sphagnum* spp.) and from June to October 2012 (5 mixed squeezings of aquatic and submerged higher plants). Samples were fixed with 4% formaldehyde immediately after sampling. Microscopical work was performed on the light microscope Leica DM 500. For identification of desmid taxa we used as many articles and books as possible (Palamar-Mordvintseva, 1982; Kouwets, 1987; Lenzenweger, 1997; Coesel, Meesters, 2007; 2013 and others).

During our study (2011-2012) 55 desmid species (57 varieties) belonging to 18 genera were identified in «Elnichnoe Ozero». This moderate number of species is a characteristic feature of overgrowing relict lakes (Shtina et al., 1981). The genera having the most number of species are *Staurastrum* (12 species and 13 varieties), *Closterium* (7 species), *Actinotaenium* and *Cosmarium* (6 species and varieties in each genera, accordingly). The

aforementioned genera include more than 55% of the identified desmid taxa. Other genera include 5 and less taxa.

Most of identified desmid species are known as oligotrophic or oligo-mesotrophic and acidophilic taxa. The dominant species were *Closterium abruptum* W. West, *C. navicula* (Brübisson) Lőkemøller var. *navicula*, *Netrium digitus* Itzigsohn & Rothe, *Staurastrum vestitum* Ralfs, *Tetmemorus granulatus* Ralfs and *T. laevis* Ralfs.

In July 2011, 52 desmid species and 54 varieties were found in 2 samples. There was, however, no significant difference between desmid species composition on the squeezings from *Carex* spp. (49 desmid species and 51 varieties) and *Sphagnum* spp. (52 desmid species and 54 varieties). In the sample from *Carex* spp. 3 taxa were absent, which we pointed for the squeezing from *Sphagnum* spp.: *Actinotaenium kriegei* (Messinkommer) Kouwets, *Closterium cornu* Ralfs and *Cosmarium cymatonotophorum* W. West.

In 2012, 55 desmid species from 57 varieties were found in 5 samples. *Actinotaenium silvae-nigrae* (Rabanus) Kouwets & Coesel, *Cosmarium prominulum* Raciborski var. *subundulatum* W. West & G.S. West and *Staurastrum* sp. were pointed only in 2012. In the mixed samples collected from June to October 2012 the highest species diversity was observed in July (53 desmid species and 54 varieties), the lowest species diversity – in October (42 desmid species and 43 varieties).

Docidium undulatum Bailey was present in the most samples from «Elnichnoe Ozero» together with common widespread desmids (e.g. *Actinotaenium cucurbita* (Ralfs) Teiling, *Cosmarium amoenum* Ralfs, *Euastrum binale* Ralfs var. *gutwinskii* (Schmidle) Homfeld, *Haplotaenium minutum* (Ralfs) Bando, *Micrasterias truncata* Ralfs, *Xanthidium armatum* Ralfs, as well as species from the genus *Tetmemorus* and some other desmid taxa). This taxon is considered as rare species in the bogs of Europe (Coesel, Meesters, 2007). *Actinotaenium kriegei*, *Cosmarium cymatonotophorum* and *C. prominulum* var. *subundulatum* were among rare taxa encountered in «Elnichnoe Ozero» (marked in few of our samples). These desmids are considered as rare taxa in the *Sphagnum*-bogs of Europe and Russia as well (Palamar-Mordvintseva, 1982; Coesel, Meesters, 2007).

Despite the recent attempts to revise some desmid taxa (e.g. Coesel, Meesters, 2013), serious problems with identification of desmids still exist. For instance in our samples we could not identify *Staurastrum* sp. with arm-like processes. *Cosmarium* cf. *subtumidum* Nordstedt var. *subtumidum* from «Elnichnoe Ozero» differs from the description (Coesel, Meesters, 2007) in very fine granules on the surface of the cell wall. Further taxonomic revisions of desmids are very important.

It is quite difficult to compare the results of our study with previous research (Orlova et al., 2008), since detailed list of species as well drawings or photos and description of taxa encountered in the study site were not provided. The findings of rare and interesting desmids indicate that further studies of algae in the bog «Elnichnoe Ozero» are necessary.

Our sincerest gratitude to Alfred van Geest (Amsterdam, the Netherlands) and Marien van Westen (Assen, the Netherlands) for providing us references; to A.A. Kotov (A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russia) for improving our manuscript. The work was supported by Russian Foundation for Basic Research (project № 14-04-01569 A for ANN).

Coesel P.F.M., Meesters K.J. Desmids of the Lowlands. Mesotaeniaceae and Desmidiaceae of the European Lowlands. Zeist: KNNV Publishing, 2007. 351 p.

Coesel P.F.M., Meesters K.J. European Flora of the desmid genera *Staurastrum* and *Stauroidesmus*. Zeist: KNNV Publishing, 2013. 357 p.

Grishutkin O.G. Morfologiya bolot Natsionalnogo parka «Smolnyi» // Nauchnye trudy Natsionalnogo parka «Smolnyi». Saransk-Smolnyi. 2008. V. 1. P. 52-57.

Kouwets F.A.C. Desmids from the Auvergne (France) // Hydrobiologia. 1987. V. 146. P. 193-263.

Krasnaya kniga Respubliki Mordoviya. V. 1: Redkie vidy rastenii, lishainikov i gribov. Saransk: Mordovskoe knizhnoe izdatelstvo, 2003. 288 p. (in Russian).

Lenzenweger R. Desmidiaceenflora von Österreich // Bibliotheca Phycologica. 1997. 2, Bd 102. 216 p.

Orlova Yu.S., Chugunov G.G., Silaeva T.B. Algoflora yuzhnoi chasti Natsionalnogo parka «Smolnyi» // Nauchnye trudy Natsionalnogo parka «Smolnyi». Saransk-Smolnyi. 2008. V. 1. P. 123-129. (in Russian).
Palamar-Mordvintseva G.M. Zelenye vodorosli. Class kon“yugaty. Poryadok desmidievye // Opredelitel presnovodnykh vodoroslei SSSR. L.: Nauka, 1982. Issue 11, Pt 2. 620 p. (in Russian).
Redkie rasteniya i griby: Materialy dlya vedeniya Krasnoi knigi Respubliki Mordoviya za 2005 god. Saransk: Izdatelstvo Mordovskogo universiteta, 2005. 64 p. (in Russian).
Shtina E.A., Antipova G.S., Kozlovskaya L.S. Algoflora bolot Karelii i ee dinamika pod vozdeistviem estestvennykh i antropogennykh faktorov. L.: Nauka, 1981. 269 p. (in Russian).

О.А. Павлова

PLANKTOTHRIX AGARDHII (GOM.) ANAGN. ET KOM. В ВОДОЕМАХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, ksana_pavlova@gmail.com

O.A. Pavlova

PLANKTOTHRIX AGARDHII (GOM.) ANAGN. ET KOM. IN RESERVOIRS OF ST.-PETERSBURG

Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia, ksana_pavlova@gmail.com

Состав и сезонная динамика синезеленых водорослей в планктоне водоемов Санкт-Петербурга изучаются в рамках комплексных исследований ИНОЗ РАН. С 1995 г. мониторинг *Cyanobacteria* проводится на самых крупных естественных водоемах – системе Суздальских озер, с 2000-х гг. – на различных водных объектах города, в том числе с 2009 г. – на озерно-речных системах рек Старожиловка, Каменка, Охта, Дудергофка. Исследованные водоемы испытывают постоянный антропогенный пресс, в том числе традиционно используются как зоны массового отдыха. В последние десятилетия наблюдается увеличение биогенной нагрузки (Региональные..., 1999; Водные объекты..., 2002; Румянцев, Игнатъева, 2006) и связанное с этим изменение структуры и продуктивности планктонных водорослей. Наиболее заметные изменения сообществ фитопланктона были отмечены в водоемах озерно-речной системы реки Каменка и водохранилище Сестрорецкий Разлив (Сохранение..., 1984; Трифонова, Павлова, 2005; Павлова, Игнатъева, 2012).

По данным предыдущих исследований (Еленкин, 1924; Сохранение..., 1984; Гутельмахер, 1986) роль *Cyanobacteria* в водоемах Петербурга была невелика, основное значение имели диатомовые, динофитовые и зеленые водоросли. Из синезеленых наиболее массовыми были *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Raftl., *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *M. wesenbergi* Kom., *Anabaena lemmermanii* P.Richt., *Snowella lacustris* (Chodat) Kom. et Hind. *Planktothrix* (*Oscillatoria*) *agardhii* авторами не упоминался. Преобладание *P. agardhii* является показателем высокой степени эвтрофирования и связано с резким усилением антропогенной нагрузки на водоем, прежде всего количества бытовых стоков (Edmondson, Lehman, 1981; Трифонова, Павлова, 2005).

Наиболее длительные наблюдения проводятся на трех Суздальских озерах. Сезонная сукцессия *P. agardhii* в эвтрофном мелководном Нижнем озере изучается в течение двадцати лет. В середине 1990-х гг. вид встречался изредка и единично. Ведущей группой были диатомеи, определявшие до 76% средней за сезон биомассы; синезеленые составляли не более 3% средней биомассы. Во второй половине 1990-х гг. в период увеличения биогенной нагрузки, связанного с активным освоением водосбора (строительство жилых массивов, возрастание уровня рекреации) было зарегистрировано постепенное увеличение содержания биогенных элементов, в первую очередь фосфора, и снижение соотношения N : P (Региональные..., 1999). Это определило резкое возрастание численности *Cyanobacteria*, в первую очередь *P. agardhii*, повышение уровня биомассы фитопланктона и смену доминирующих групп и видов водорослей. Впервые цветение *Planktothrix* наблюдалось в октябре 1997 г. В дальнейшем массовое развитие вида обуславливало до 90% общего количества фитопланктона, абсолютные значения биомассы достигали 43 мг/л. Трофический статус Нижнего Суздальского озера соответствовал высокоэвтрофной ста-

дии. При этом диатомовые водоросли составляли не более 18% средней за сезон биомассы, синезеленые – до 50%. Кроме того, отмечалось резкое снижение количества других видов *Cyanobacteria* – *A. flos-aquae*, *M. aeruginosa*, *M. wesenbergi* и др. Замена других доминантов из числа синезеленых водорослей на *Planktothrix* отмечалось и для других водоемов, например, некоторых волжских водохранилищ (Ляшенко, 2000 и др.).

В начале 2000-х гг. концентрации биогенов в водоеме стабилизировались, и с 2005 г. наблюдается постепенное снижение количества *P. agardhii* и уровня фитопланктона в целом. Средняя за сезон биомасса сократилась с 20-25 (2003-2004 гг.) до 10-11 мг/л (2009-2013 гг.). Изменился состав доминантов *Cyanophyta* – в летнем планктоне наряду с *Planktothrix* в массе развиваются *Aphanizomenon gracile* (Lemm.) Lemm., а также хрококковые из родов *Woronichinia* и *Microcystis*. Значение *Bacillariophyta* и динофлагеллят в планктоне при этом постепенно возрастает, в 2007-2013 гг. они составляли до 53% и 55% среднесезонной биомассы соответственно. Последний случай «цветения» *Planktothrix* в Нижнем озере наблюдался в конце июля – начале августа 2011 г.; численность вида достигала 350 млн кл./л, биомасса – 18 мг/л. В то же время возросло количество *P. agardhii* в Верхнем озере, где ранее вид встречался крайне редко. В течение лета и осени *Planktothrix* присутствует в планктоне, но пока в небольших количествах. Увеличение биогенной нагрузки на два мезотрофных озера системы происходит намного медленнее, тем не менее, среднее значение *Cyanobacteria* в них возросло до 11–15%. Массовое развитие *Planktothrix* с 2009 г. наблюдается в Шуваловском карьере, водохранилище на вытекающей из Нижнего озера р. Каменке, и далее по течению реки – до 69 млн кл./л. Ранее, в конце 1990 – начале 2000-х гг., эти водоемы характеризовались как олиготрофные с очень слабым развитием синезеленых, преимущественно хрококковых - *Aphanocapsa delicatissima* W. et G.S.West, *Snowella lacustris*, видов рода *Chroococcus*.

В водоемах озерно-речных систем рек Охта и Дудергофка развитие *Planktothrix* крайне слабое, что определяется особенностями их гидрохимических режимов – снижением pH, увеличением минерализации и др. Значительные количества *P. agardhii* регулярно отмечаются в некоторых высокоэвтрофных водоемах в черте Санкт-Петербурга. Цветение *Planktothrix*, как правило, наблюдается в самых мелководных прудах с наибольшими концентрациями биогенных элементов в придонных слоях. Численность вида может достигать 550 млн кл./л, биомасса – 21 мг/л. Активная вегетация вида характерна для собственно городских водоемов, в прудах пригородных зон (Пушкин, Павловск, Колпино и др.) численность *Planktothrix* не превышает 10 тыс. кл./л. В целом, для малых водоемов Петербурга более типично массовое развитие *A. flos-aquae*, *M. aeruginosa*, *M. wesenbergi*, видов родов *Anabaena* и *Woronichinia*.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН № 11

Водные объекты Санкт-Петербурга. СПб.: Символ, 2002. 348 с.

Еленкин А.А. О годовой смене фитопланктона во 2-ом озере в Озерках (окр. Ленинграда) // Ботан. Матер. Ин-та Спор. раст. Гл. Бот. сада РСФСР. 1924. Т. 3, Вып. 1-12. С. 56-62.

Гутельмахер Б.Л. Метаболизм планктона как единого целого. Л.: Наука, 1986. 155 с.

Ляшенко О.А. Сезонная динамика и многолетние изменения фитопланктона и содержание хлорофилла в Угличском водохранилище // Биология внутр. вод. 2000. № 3. С. 52-61.

Павлова О.А., Игнатъева Н.В. Сообщества планктонных водорослей Суздальских озер (Санкт-Петербург) в условиях меняющейся биогенной нагрузки // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Матер. V Всерос. симп. Петрозаводск, 2012. С. 179–182.

Региональные проблемы сбалансированного развития процесса природопользования. Эколого-экономические, организационные и правовые аспекты. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 508 с.

Румянцев В.А., Игнатъева Н.В. Система ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на водоемах. СПб.: ВВМ, 2006. 152 с.

Сохранение природной экосистемы водоема в урбанизированном ландшафте. Л.: Наука, 1984. 145 с.
Трифонова И.С., Павлова О.А. Сукцессия фитопланктона урбанизированных водоемов Санкт-Петербурга // Гидробиол. журн. 2005. Т. 41, № 1. С. 3–12.
Edmondson W.T., Lehman J.T. The effect of changes in the nutrient income on the condition of Lake Wachington // Limnol. Oceanogr. 1981. V. 26. P. 1–29.

Е.В. Пшенникова

ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова г. Якутск, Россия, el_viss@mail.ru

E.V. Pshennikova

SOIL ALGAE OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE CENTRAL YAKUTIA

M.K. Amosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia, el_viss@mail.ru

Почвенные водоросли лесных биогеоценозов Якутии изучены недостаточно. В данной работе приводятся результаты исследований 2009–2012 гг. почвенных водорослей в лесах коренного берега р. Лены и окрестностей г. Якутска. В брусничном лиственничном лесу развиваются мерзлотные палевые почвы. Протаивание мерзлоты под таким лесом достигает до 1.6 м. Среднемесячная температура поверхности почвы колеблется в течение лета от 7°C до 24°C. Влажность почвы понижается в течение летнего сезона, и иссушение почвенного профиля способствует поднятию и формированию карбонатного горизонта.

В почвах леса обнаружено 65 видов водорослей из 4 отделов. По количеству видов, по численности и биомассе доминируют зеленые (30 видов) и желтозеленые (17), относящиеся к Ch-, C- и X- жизненным формам. Наиболее характерными видами являются *Pleurochloris magna*, *Botrydiopsis arhiza* Borzi, *Vischeria stellata* (Chod.) Pasch., *Chloropedia plana* Pasch., *Chlamydomonas atactogama* Korsch., *C. elliptica* Korsch., *C. speciosa* Korsch., *Chlorococcum dissectum* Korsch., *C. hypnosporum* Starr., *Macrochloris dissecta* Korsch., *Chlorhormidium flaccidum* (Kütz.) Fott и др. Средневегетационная численность и биомасса водорослей в лесу составляла соответственно 57.5 тыс. кл./г и 1.7 мг/г. В июне по численности (28.6 тыс. кл./г) и биомассе (1.2 мг/г) преобладали зеленые (*Chlamydomonas atactogama* Korsch., *C. speciosa* Korsch., *C. steinii* Gorosch., *Chlorococcum dissectum* Korsch., *Chlorochytrium paradoxum* (Klebs) G. S. West, *Chlorhormidium flaccidum* (Kütz.) Fott, *Ulothrix tenerrima* Kütz., *Macrochloris dissecta* Korsch., *Bracteacoccus minor* (Chod.) Petrova) и желтозеленые (*Chloropedia plana* Pasch.) водоросли. В июле прогрев поверхности почвы способствовал увеличению числа видов водорослей до 48 из 5 отделов, а также их численности (58.6 тыс. кл./г) и биомассы (1.8 мг/г). К ранее встреченным в июне видам присоединились представители синезеленых (*Synechococcus cedrorum* Sauv., *Merismopedia minima* G. Beck.), зеленых (*Chlorosarcinopsis minor* (Gerneck.) Herndon, *Rhizothallus islandicus* Dangeard) и диатомовых (*Pinnularia borealis* Ehr.). Однако исчезли некоторые виды зеленых. В августе водоросли представлены 53 видами из 6 отделов. Появились синезеленые (*Phormidium ambiguum* Gom.), желтозеленые (*Botrydiopsis arhiza* Borzi), зеленые (*Chlorogonium leiostracum* Str., *C. tetragamum* Bohl., *Chlorococcum hypnosporum* Starr.) и эвгленовые (*Trachelomonas dybowski* Drež.). Численность составила 58.8 тыс. кл./г при биомассе водорослей 1.8 мг/г. В сентябре с понижением температуры почвы число таксонов уменьшилось до 29 из 4 отделов, при некотором снижении численности (48.9 тыс. кл./г) и биомассы (1.6 мг/г). Из синезеленых присутствуют *Borzia trilocularis* Cohn., *Nostoc linckia* (Roth.) Born. et Flah. Появляются новые виды желтозеленых (*Bumilleriopsis brevis* (Gern.) Printz) и зеленых (*Treubaria varia* Tiff. et Ahlstr., *Teraëdron triangulare* Korsch.) водорослей, которые по численности и биомассе дают основной фон. Сокращение числа видов происходит в основном за счет желтозеленых водорослей, хотя их численность и биомасса остаются довольно высокими. Анализ экологических групп и жизненных форм водорослей показал, что эдафотрофные водоросли составляют 80% состава, гидрофильные и амфибиаль-

ные – 20%. Экологическая структура эдафотрофных водорослей выражена формулой $Ch_{17}C_{14}X_{12}H_8P_4B_3hydr_7$.

Вторая площадка была расположена под пологом брусничного лиственничного леса, где развиваются мерзлотные палевые почвы, при содержании гумуса 21.1%, плотности 0.57 г/см^3 и наличия солей 0,101% в поверхностном слое. Дневные температуры поверхности почвы в июне составляли 20.1°C , в августе достигали 23.2°C и охлаждались к сентябрю до 12°C . Обнаружен 71 вид водорослей из 4 отделов при среднелетней численности 47.1 тыс. кл./г и биомассе 1,29 мг/г. Альгологический фон в равной степени составляли зеленые (34 видов) и синезеленые (23 видов) водоросли, принадлежащие к P-, C-, Ch- жизненным формам. На протяжении всего сезона в пробах присутствовали *Oscillatoria brevis* (Kütz.) Gom., *Phormidium autumnale* (Ag.) Gom., *P. ambiguum* Gom., *P. corium* (Ag.) Gom., *Pinnularia borealis* Ehr., а также виды рода *Chlamydomonas* (*C. gelatinosa* Korsch., *C. globosa* Snow, *C. gloeogama* Korsch., *C. elliptica* Korsch., *C. speciosa* Korsch.). А виды *Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Gom., *Nostoc linckia* (Roth.) Borm. et Flah., *Anabaena oscillarioides* Bory, *Chlorella terricola* Hollerb., *Stichococcus bacillaris* Näg. sens. str., *Coccomyxa solorinae* Chod., *Gongrosira terricola* Bristol – являются специфическими. В июне обнаружено 45 видов из 4 отделов с преобладанием Ch- жизненных форм. По числу видов доминировали синезеленые (27 видов) водоросли, численность составила 18.8 тыс.кл./г, биомасса 0.8 мг/г. Встречались *Merismopedia minima* G. Beck., *Aphanothece saxicola* Näg., *Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Hollerb., *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom., *P. molle* (Kütz.) Gom., *Nostoc paludosum* Kütz., *N. commune* Vausch. et sensu Elenk., *N. punctiforme* (Kütz.) Elenk., *Anabaena oscillarioides* Bory, *Cylindrospermum licheniforme* (Bory) Kütz., *Tolypothrix tenuis* Kütz., *Stichococcus bacillaris* Näg. sens. strict., *Calothrix elenkinii* Kosinsk., а также виды, присутствующие весь сезон. Зеленые водоросли были представлены родами *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Chlorella* и др. Из диатомовых встречены только *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun., *Pinnularia borealis* Ehr. В июле, с прогреванием поверхности почвы, число видов увеличилось до 56 из 4 отделов. Среднемесячная численность составила 53.9 тыс.кл./г при биомассе 1.40 мг/г. На первое место по числу видов (29), численности и биомассе вышли представители зеленых. Появились ранее не встреченные *Radiosphaeria dissecta* (Korsch.) Fott, *Chlorococcum dissectum* Korsch., *C. hypnosporum* Starr., *Macrochloris dissecta* Korsch., *Bracteacoccus minor* (Chod.) Petrova, *Dictyococcus irregularis* Boye-Pet., *Chlorella vulgaris* Beijer, *C. terricola* Hollerb., *Stichococcus bacillaris* Näg. sens. strict., *S. mirabilis* Lagerh., *Coccomyxa solorinae* Chod., *Gongrosira terricola* Bristol. Флора желтозеленых представлена 12 видами. Обильно развиваются *Pleurochloris anomala* James, *P. lobata* Pasch., *P. commutate* Pasch., *P. magna* Boye-Pet., *Botrydiopsis arhiza* Borzi, *B. eriensis* Snow., *Polydriella helvetica* Pasch., *Characiopsis gracilis* Pasch. Несколько меньше было синезеленых (13 видов). Исчезли представители родов *Merismopedia*, *Aphanothece*, *Anabaena*, на смену им пришли *Microcoleus vaginatus* (Vausch.) Gom., *Plectonema boryanum* Gom. По-прежнему, в пробах присутствуют представители рода *Phormidium*, а также *Oscillatoria brevis* (Kütz.) Gom. Из диатомовых водорослей обнаружены *Pinnularia borealis* Ehr., *Stauroneis anceps* Ehr. В августе, из-за кратковременного похолодания (до 12°C), произошло уменьшение числа видов до 36 из 4 отделов, при среднемесячной численности 47.8 тыс.кл./г и биомассе 0.67 мг/г. Исчезли желтозеленые водоросли. Число зеленых сократилось до 18 видов, хотя они, как и прежде, доминировали. Их состав в основном остался прежним, за исключением видов из родов *Chlorella*, *Stichococcus*, *Coccomyxa*, *Gongrosira*. Из синезеленых присутствовали в основном виды родов *Phormidium* (6) и *Oscillatoria* (3). Из диатомовых встречен *Pinnularia borealis*. В сентябре число видов уменьшилось до 24 из 3 отделов, снизилась численность (37.8 тыс.кл./г) и биомасса (0.8 мг/г). Доминировали, как и прежде, зеленые (14 видов), среди которых видовым разнообразием выделялся

род *Chlamydomonas* (10). Кроме того, присутствовали *Kentrosphaera bristolae* G.M. Smith., *Radiosphaera dissecta* (Korsch.) Fott., *Macrochloris dissecta*, *Chlorhormidium rivulare* (Kütz.) Starmach. Синезеленые были представлены *Nostoc linkia* (Roth.) Born. et Flah., *Oscillatoria brevis* (Kütz.) Gom., *Phormidium ambiguum* Gom., *P. corium* (Ag.) Gom. Из диатомовых вновь встречены *Pinnularia borealis* и *Hantzschia amphioxys*.

В сравнении с предыдущей площадкой здесь альгосинузии содержат гораздо больше синезеленых, в том числе – азотфиксирующих видов. Среднегодовая биомасса водорослей несколько ниже. Коэффициент флористического сходства водорослей составил 59.7%. Однако в экологических спектрах, как и на предыдущей площадке, доминировала Ch-форма ($Ch_{18}X_{12}Cf_{10}C_7H_7B_3H_2M_1N_1hydr_3$). Эдафофильные виды составили 94%. В лиственничном лесу наряду с общей обедненностью отмечена малочисленность видов синезеленых и диатомовых, которые имеют здесь и довольно слабое развитие. По результатам исследований химического состава почв в лиственничном лесу обнаружены сравнительно невысокие запасы питательных элементов, при этом содержание кальция ниже, чем фосфора, кремнезема и калия, довольно низким оказался рН лиственничной подстилки. В то же время корни лиственницы, обладающие самой высокой фитонцидностью, оказали наибольшее угнетающее действие на все группы микроорганизмов, на рост корешков и величину проростков растений. Все это, по-видимому, в значительной мере объясняет как бедность видового состава, так и небольшое разнообразие и развитие указанных выше отделов водорослей в лиственничниках лесах.

Таким образом, в брусничном лиственничном лесу сформировалась альгосинузия, характерная для лесных фитоценозов, признаками которой является преобладание зеленых и желтозеленых водорослей с ограниченным числом видов синезеленых и в большинстве случаев, малой ролью диатомей; преобладают виды порядков Chlorococcales Chlamydomonadales, сосредоточенных в основном в подстилке, которую считают своеобразным фототрофным микрогоризонтом, обогащенным подвижным органическим веществом. Сухие лиственничники как правило бедны видами (одноклеточные зеленые и желтозеленые). Темнохвойные леса отличаются другой структурой альгосинузий ХСРCh, но сходны по содержанию эдафофильных видов (72%) и по преобладающим группам водорослей. Ведущими родами являются *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Tetracystis*, *Chlorosarcinopsis*, *Oscillatoria*, *Bracteacoccus*, *Ellipsoidion*. Как видим, наблюдается преобладание зеленых водорослей. Массовое развитие иногда имеют виды желтозеленых. Синезеленые водоросли представлены небольшим числом видов и значительной роли в альгосинузиях не играют.

Е.В. Пшенникова, Л.И. Копырина

АЛЬГОФЛОРА ГОРНЫХ ВОДОЕМОВ НА ТЕРРИТОРИИ ХРЕБТА

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия, el_viss@mail.ru

E.V. Pshennikova, L.I. Kopyrina

**ALGAEFLORA OF MOUNTAINS PONDS IN TERRITORY OF TOKINSKY STANOVIK
(SOUTH YAKUTIA)**

M.K. Amosov North Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
Institute of biological problems kriolitozone SB RAS, Yakutsk, Russia, el_viss@mail.ru

Альгофлора водоемов у подножья хребта Токинский Становик бассейна реки Алдан и прилегающих к нему территорий изучена недостаточно. Настоящая работа является результатом исследований 2006 г. некоторых водоемов, расположенных в бассейне реки Алдан и первой аналитической сводкой, дополненной видами, проанализированной по таксономическому разнообразию и экологии водорослей водоемов хребта Токинский Становик. Климатические условия района расположения озер весьма суровы: среднегодовая температура воздуха $-11.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя темпера-

тура января $-31.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а абсолютный минимум достигает $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$, макс. температура воздуха в летний период составляет $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Многолетняя мерзлота в районе исследования, как и во всей Южной Якутии, не имеет сплошного распространения: на высоких водораздельных участках она отсутствует. Озеро Большое Токо имеет овальную (длина 15.4 км, ширина 7.5 км, S зеркала 82.6 км², макс. глубина 71 м), слабо изрезанную форму, расположено в юго-восточной Якутии, в предгорьях Станового хребта на высоте 903.8 м над уровнем моря. Озеро проточное и является огромным хранилищем чистой питьевой воды высокого качества. С юга отрогов Станового хребта в озеро Большое Токо впадает р. Утук, берущая свое начало на высоте 1880 м над уровнем моря, в залив озера с восточного нагорья впадает небольшой ручей, с северо-восточной оконечности озера вытекает р. Мулам, на которой почти ежегодно наблюдается интенсивное наледообразование. Зимой наледь простирается по долине реки на 13 км, а примерный объем льда достигает порядка 3 млн м³. Максимальная толщина льда на озере достигает 136 см, а средняя по всей площади – 110 см. Температура воды по вертикали на трех станциях, расположенных на разных глубинах показывает на наличие обратной термической стратификации, что диктуется, проточностью озера.

По результатам исследований в озерах Большое и Малое Токо, рек Ивак и Утук, ручьев, а также в других, неводных местообитаниях (обрастания мхов, стволов деревьев, скал, береговых обрывов и т.д.) установлено 193 вида (222 видов и разновидностей) водорослей из 93 родов, 63 семейств, 26 порядков, 14 классов и 10 отделов. Распределение по отделам, как по числу таксонов, так и в процентном отношении оказалось следующим: диатомовых – 102 вида (52.8% от общего числа видов), зеленых – 36 (18.6%), цианопрокариот – 19 (9.8%), золотистых – 14 (7.3%), желтозеленых – 8 (4.1%). Соотношение таксонов, когда основу списка более 90% составляют представители выше перечисленных отделов водорослей, что характерно как для всех исследованных водоемов Якутии, так и для других водоемов северо-западных, северо-восточных бореальных и субарктических территорий России. Бедные в видовом отношении оказались отделы динофитовых (5), красных (4), харовых и эвгленовых (по 2), рафидофитовых (1) водорослей.

Известно, что отличительной чертой северных флор, как у высших растений, так и у низших является преобладание монотипных семейств и родов, что мнению ряда авторов, отражает высокоширотное положение региона. В водоемах Якутии более трети семейств являются одно- и двувидами, а в исследованных водоемах одновидовые семейства составили 41.3% от общего числа видов), среди которых выделяются зеленые и цианопрокариоты. Одновидовые роды составили 30.1% от общего числа видов, что менее показательно относительно данных по Якутии, где монотипные роды составили 40.8%.

В таксономическом спектре состав ведущих семейств объединяют 103 вида (53.4% от общего числа найденных видов). Самые богатые в видовом отношении преобладают семейства отдела диатомовых водорослей – 83 вида (43.0%). Наименьшие показатели у зеленых водорослей – 8 видов (4.1%), цианопрокариот и золотистых водорослей - по 6 видов (3.1%). Среди семейств доминирует по числу видов *Naviculaceae*, *Eunotiaceae* и *Fragilariaceae*. Ведущие десять родов включают 75 видов (39.0% от общего числа найденных видов) водорослей, среди которых доминируют диатомовые – 70 (36.3%) видов, а цианопрокариоты составили всего 5 (2.5%) видов. В десятку ведущих родов вошли: *Eunotia*, *Fragilaria* и *Navicula*. Видовое разнообразие диатомовых водорослей имеет сходные черты с видовым составом Жаровских озер, расположенных у подножья Патомского нагорья Юго-Западной Якутии, где доминировали диатомовые водоросли – 62.0% от общего числа найденных водорослей, а также в альгофлоре высокогорных водоемов Верхоянья северо-восточной Якутии, где основным фон составляли диатомовые водоросли. Водоросли

других отделов существенно уступают диатомовым водорослям, что объясняется практически не изученностью альгофлоры данной территории, спецификой природно-климатических условий, низкой температурой воды, малой минерализацией и концентрацией биогенных веществ. Вода озера Большое Токо относится к карбонатному классу, а по солесодержанию - пресной.

Водоросли из отдела зеленых составили всего 18.6% от общего числа обнаруженных видов. По видовому разнообразию выделяется семейство *Desmidiaceae*, которое свидетельствует о голарктических чертах флор северного полушария, что отмечается многими авторами в своих работах и является характерным признаком для горных водоемов с суровым климатом. Высокие показатели встречаемости наблюдаются среди улотриковых (*Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kütz., *Chlorohormidium tribonematoideum* (Skuja) Starm., *Gloeotila curta* Skuja, *Raphidonema sabaudum* Kol.) и эдогониевых (*Oedogonium pringsheimii* Grammer с вариациями, *Bulbochaete mirabilis* Wittr.) водорослей. Единично представлены хлорококковые (*Korchikoffiella limnetica* (Lemm.) Silva, *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb.) и десмидиевые (*Actinothaenium turgidum* (Bréb.) Teil. ex Ruzicka et Pouzar, *Cosmarium blyttii* Wille, *C. caelatum* Ralfs, *C. cucumis* (Corda) Ralfs.) водоросли. Из цианопрокариот в исследованных водоемах выявлено всего 9,8%. Мелкоклеточные виды часто встречались в литорале озер и речек (*Merismopedia punctata* Meyer, *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend Elenk., *Aphanothece clathrata* W. et G.S. West, *Oscillatoria planctonica* Wołosz.) и в обрастаниях и вневодных местообитаниях (*Oscillatoria granulata* Gardner, *O. irrigua* (Kütz.) Gom., *O. lacustris* (Kleb.) Geitl., *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Elenk., *Calothrix braunii* Born. et Flah., *C. fusca* (Kütz.) Born. et Flah., *Rivularia coadunata* (Sommerf.) Foslie, *R. dura* Roth.). Видовое разнообразие золотистых водорослей в исследованных водоемах составило 7,0% от общего числа видов, за счет родов *Dinodryon* (*D. divergens* Imhof с вариациями, *D. suecicum* Lemm. с вариациями, *D. utriculus* (Ehr.) Klebs с вариациями), *Epipyxis* (*E. tabellaria* (Lemm.) Smith), *Pseudokephyrion* (*P. gypermaculatum* Ettl, *P. striatum* Hill.) и *Mallomonas* (*M. maiorensis* Skuja, *M. soleatus* Harris et Bradley). Доля участия водорослей других отделов характеризуются бедностью в видовом отношении, составляющие менее 5% от общего видового состава, при этом среди них были обнаружены редкие и новые для водоемов Якутии виды водорослей. Желтозеленые водоросли представлены немногочисленными видами обрастателями (*Characiopsis falx* Pasch. in Ettl., *Ch. pernana* Pasch., *Tribonema ambiguum* Skuja), а также встречались планктонные виды (*Sphaerosorus coelastroides* Pasch., *Ophiocytium parvulum* A.Br.). Динофитовых водорослей обнаружено 10 видов, среди которых выявлены редкие и новые для Якутии виды водорослей: *Gymnodinium discoidale* Harris, *G. lacustris* Schiller, *Cystodinedria adpressa* (Pasch) Bourr. Из красных водорослей найдены редкие для альгофлоры Якутии виды, встречающиеся спорадически и с малочисленными популяциями в обрастаниях и в быстро текущих реках и речках: *Audouinella hermanii* (Roth) Duby, *Lemanea fluviatilis* Ag., *L. nodosa* Kütz., *Thorea brodensis* Klas. Эвгленовые водоросли представлены всего двумя видами *Trachelomonas volvocina* Ehr. и *Colacium vesiculosum* Ehr. Харовые водоросли – *Chara* L., *Nitella* Ag. emend A. Br. Leonh., единственное местообитание которых в Якутии зафиксировано в озерах Большое и Малое Токо, определенные до рода Пшенниковой Е.В. Из рафидофитовых водорослей найден редкий вид *Goniastomum latum* Skuja.

Эколого-географический анализ приведен по диатомовым водорослям, так как диатомовые водоросли среди других отделов водорослей наиболее информативны, разнообразны и являются хорошими индикаторами. По местообитанию преобладали бентосные диатомеи 66 видов, среди них с высоким обилием в альгоценозах являлись виды из родов *Nostoc*, *Schizothrix*, *Calothrix*, *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Caloneis*, *Cymbella*, *Denticula*, *Epithemia*, *Eunotia*, *Gomphonema*, *Pinnularia*, *Stauroneis*. Представителей планктонно-бентосных выявлено 33 вида, среди которых следует отметить

некоторые виды родов *Diatoma*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella*, *Tabellaria*. Доля истинно планктонных видов в альгофлоре незначительна – 9 видов, среди которых в толще воды отмечены широко распространенные виды родов *Cyclotella*, *Melosira*, *Aulacoseira*, *Tabellaria*. К числу часто встречаемых видов относятся *Fragilaria capucina* var. *amphicephala* (Grun.) Lange-Bertalot, *F. construens* с вариациями, *F. pinnata* Ehr., а также некоторые виды родов *Achnanthes*, *Eunotia* и *Gomphonema*.

По отношению к солености воды преобладают виды индифференты (74), галофобы (18), галофилы (12), мезогалофы (2) и олигогалофы (1 вид). Преобладание галофобных видов над галофильными связано с низкой минерализацией воды. По отношению к pH среде наиболее разнообразны были диатомеи, предпочитающие щелочную реакцию pH (45 видов), меньше было индифферентов (25), предпочитающих слабокислую среду pH (18) и алкалибионтов (5 видов). Географический анализ показал принадлежность большинства диатомовых водорослей в исследованных водоемах к группе космополитов (68 видов), второе место занимают арктоальпийские (15), третье место заняли бореальные (13) виды. Санитарно-биологический анализ организмов выявил олигосапробный, олиго-бета- и ксеносапробный характер вод и отсутствие органического загрязнения. Вода исследованных водоемов относится ко II классу чистоты. Таким образом, видовое разнообразие исследованных водоемов хребта Токинский Становик, расположенных в бассейне реки Алдан, определяют диатомовые, зеленые, цианопрокариоты, желтозеленые и золотистые водоросли, составляющие более 90% флористического списка.

Л.В. Разумовский
МЕТОД ГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ПРОПОРЦИЙ
В ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия, razum@aqu.laser.ru

L.V. Razumovskiy
THE METHOD OF GRAPHICAL ANALYSIS OF TAXONOMIC PROPORTIONS
IN DIATOM ASSEMBLAGES

Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia, razum@aqu.laser.ru

При изучении водоемов Европейской части России (1993–2013 гг.), был разработан метод графического сопоставления таксономической структуры диатомовых комплексов (Разумовский, Моисеенко, 2009; Разумовский, 2012). В линейной системе координат было выделено три типа распределения таксономических пропорций, которые формируются в природных условиях: экспоненциальный, логистический и линейный. Два первых типа соответствуют прижизненным таксономическим пропорциям, которые объективно отражают естественную экологическую обстановку в пресноводных водоемах. Третий тип (линейный) соответствует комплексам, которые подверглись процессам переноса и переотложения. Нелинейный характер распределения – признак многофакторного прижизненного воздействия. Линейный характер распределения – признак селективного воздействия одного фактора в посмертных условиях. Распознавание переотложенных комплексов позволило получить новую информацию о климатических изменениях в прошлом, выраженных в гидрологических перестройках.

На территории Европейской части России, все пресноводные экосистемы непроточного типа были достоверно разделены на две группы или категории: «простые» системы и «сложные» системы. Эти категории всегда можно выделить в любой ландшафтно-климатической зоне по таксономической структуре диатомовых комплексов. При отсутствии антропогенной нагрузки, для «простых» (или малых) экосистем характерно экспоненциальное распределение таксономических пропорций. Для «сложных» (или больших) экосистем характерен логистический тип распре-

деления, или переходное состояние между экспоненциальным и логистическим типом распределения.

«Простая» экосистема является целостной и неделимой структурой, у которой есть определенные морфометрические размеры в зависимости от той или иной ландшафтно-климатической зоны. Любую «сложную» экосистему можно достоверно разделить на «простые» экосистемы, из которых она состоит. При возникновении внешней негативной нагрузки природного или антропогенного генезиса «простые» и «сложные» экосистемы имеют различные сценарии трансформации таксономических пропорций в диатомовом комплексе. Это было продемонстрировано на примере Кольского п-ва, для малых озер (менее 1 км²) и озер среднего размера (от 1 до 4 км²).

При проведении графического анализа в логарифмической системе координат, было установлено три сценария пространственно-временных трансформаций в структуре диатомовых комплексов под воздействием природных и антропогенных факторов (Разумовский, Моисеенко, 2009; Разумовский, 2012). Первый сценарий представляет собой вращение некой совокупности (генерации) результирующих линий во времени или пространстве вокруг единой области (центра вращения). Этот тип трансформации характерен для «простых» систем. Центр вращения определяется числом доминирующих таксонов (видов), которые поддерживают трофо-метаболическую целостность «простой» экосистемы. Второй сценарий трансформации представляет собой веерообразный разворот совокупности (генерации) результирующих линий вокруг единой области. Этот тип трансформации характерен для «сложных» систем. В этом случае целостность экосистемы поддерживается совокупностью доминирующих и сопутствующих видов. Центр веерообразного разворота определяет их общую численность. Третий тип сценария может развиваться в «сложной» и «простой» системе, если меняются физико-химические параметры самой среды обитания. При этом воздействие в равной степени затрагивает все три основные группы таксонов (доминирующие, сопутствующие и редкие). Анализируемые генерации не имеют единого центра, а результирующие линии занимают положение близкое к параллельному. Два сценария (вращение и разворот) развиваются при прямом воздействии извне (природном или антропогенном). Их объединяет формирование генерации результирующих линий с единой областью или центром. При значительных негативных нагрузках, генерация распадается из-за утраты единого центра. Это свидетельствует об утрате трофо-метаболической целостности и деградации экосистемы.

Природно-климатическое воздействие, как правило, не приводит к деградации экосистемы, а сопровождается сменой одной сукцессии на другую. В этом случае возникает длительное переходное состояние, для которого характерно постепенное формирование генерации из параллельных линий (Разумовский, Гололобова, 2013). Этот тип трансформации формируется путем не прямого, а опосредованного воздействия внешних факторов, через изменения самой среды обитания (t°С, рН, глубина водоема). По этим признакам воздействие природных факторов среды можно, почти всегда, отличить от антропогенного воздействия.

Закономерности трансформации, выявленные для диатомовых комплексов и диатомовых ассоциаций из непроточных экосистем (озер), имеют аналоги, которые наблюдаются в проточных экосистемах (дельтовых рукавах Волго-Ахтубинского междуречья и малых реках Среднерусской полосы). В проточных водоемах диатомовые ассоциации, распространенные в трех зонах обитания (в прибрежных обрастающих, на дне и водной толще) также трансформируются по вышеуказанным сценариям (Разумовский, 2002, 2004).

Разработанный метод графического сопоставления позволил впервые достоверно оценить интегральный уровень антропогенной нагрузки на природные экоси-

стемы, а также описать процессы фазовых переходов с одного экосистемного уровня на другой на основе междисциплинарного обобщения теории экологических модификаций и принципов самоорганизации экосистем (Абакумов, 1992).

Абакумов В.А. Цели и задачи гидробиологического мониторинга пресноводных экосистем // Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. С. 4–32.

Разумовский Л.В. Новый метод оценки общего уровня антропогенной нагрузки на речную систему // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. XVIII. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. С. 192–207.

Разумовский Л.В. Оценка качества вод на основе анализа структуры диатомовых комплексов // Водные ресурсы, 2004. Т. 31. № 6. С. 742–750.

Разумовский Л.В. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа. М.: Геос, 2012. 200 с.

Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Докл. РАН. 2009. Т. 429. №2. С 274–277.

Разумовский Л.В., Гололобова М.А. Долговременные трансформации диатомовых комплексов из озер Боре и Глубокое // Вестник Московского Государственного Ун-та. Биологическая серия, 2013. Вып. 68. № 4. С. 19–23.

Р.Е. Романов¹, А.А. Гончаров²

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ ХАРОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (STREPTOPHYTA: CHAROPHYCEAE, CHARALES)

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия, romanov_r_e@ngs.ru

²Биолого-почвенный институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, gontcharov@biosoil.ru

R.E. Romanov¹, A.A. Gontcharov²

MORPHOLOGICAL AND MOLECULAR POLYMORPHISM OF CHAROPHYTES (STREPTOPHYTA: CHAROPHYCEAE, CHARALES)

¹Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, romanov_r_e@ngs.ru

²Institute of Biology and Soil Science FEB RAS, Vladivostok, Russia, gontcharov@biosoil.ru

Цель работы – изучение генетической и морфологической дифференциации широко распространенных видов харовых водорослей, что необходимо для ревизии и совершенствования концепций вида и внутривидовых таксонов харовых водорослей, понимания и реконструкции процессов их видообразования, внутривидовой эволюции и флорогенеза. В качестве модельных выбраны виды рода *Chara* L. подрода *Chara* R.D. Wood, секции *Chara* R.D. Wood, подсекции *Chara* R.D. Wood: широко распространенные и часто встречающиеся в умеренных широтах многих регионов Голарктики пресноводные галотолерантные виды, развивающиеся в относительно широком диапазоне трофности, *C. contraria* A. Braun, *C. vulgaris* L. и редкий по всему ареалу вид *C. inconnexa* Allen. Исследованные популяции (40) расположены на юге Западной и Восточной Сибири (Алтайский край, Новосибирская область, Иркутская область, Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия), Забайкальский край), центральной части Восточно-Европейской равнины (Ярославская область). Ваучерные образцы депонированы в NS и SASY. Филогенетический анализ проведен с использованием комплекса методов: максимальной вероятности, максимальной парсимонии и Бейесова подхода. Такой комбинированный подход позволяет извлечь максимум филогенетической информации и компенсирует известные слабости отдельных методов анализа.

Проведено исследование изменчивости признаков ооспор с помощью СЭМ. Показан широкий диапазон изменчивости размеров ооспор. Выявлено четыре типа орнаментации поверхности ооспор: гладкая, гранулированная, пустилированная и мелкоямчатая. Степень выраженности орнаментации, по-видимому, отражает степень зрелости опор. По-видимому, гладкая поверхность была свойственна

незрелым ооспорам изученных видов. Пустулированная оболочка выявлена у всех трех видов, гранулированная – у *C. contraria* и *C. vulgaris*, мелкоямчатая – у *C. contraria* и *C. inconnexa*. Таким образом, близкие виды *C. contraria* и *C. inconnexa* сходны по этому признаку, и неотчетливо различаются частотой встречаемости отдельных вариантов. Это означает невозможность их разграничения только по ультраскульптуре поверхности ооспор. Тип орнаментации не отражает географическое расположение исследованных популяций.

Выделено 40 образцов ДНК. Получены ПЦР продукты хлоропластного гена *rbcL* и межгенного спейсера ядерной рибосомной ДНК (ITS1 и ITS2). Проведена оценка варибельности использованных маркеров между секциями, видами, популяциями и внутри популяций. Секвенирование этих участков для модельных популяций показало, что *rbcL* и ITS2 отличаются высокой консервативностью и малоинформативны для анализа внутри и межвидовой изменчивости изучаемых видов. Показано, что наиболее подходящим для характеристики межвидового полиморфизма является ITS1. Установлены 2 кластера последовательностей. Первый объединяет популяции *C. vulgaris*, а второй включает популяции видов *C. contraria* и *C. inconnexa*. При этом ITS1 не позволил достоверно разграничить эти виды. Основываясь на полученных нами данных можно предположить, что *C. inconnexa* – стадия онтогенеза или результат нетипичного морфогенеза *C. contraria*. Основные дифференцирующие признаки этих видов – количество и длина коровых сегментов листа в сочетании с относительной длиной бескоровой части листа, по-видимому, являются гомопластичными.

Авторы благодарны В.С. Вишнякову, Л.И. Копыриной и Б.Б. Базаровой за образцы харовых водорослей. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты №13-04-90723 и № 14-04-31596.

Р.Е. Романов¹, Е.В. Чемерис², В.С. Вишняков²

**МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ВОДОРОСЛИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ.
STREPTOPHYTA: CHARALES, RHODOPHYTA, XANTHOPHYTA: VAUCHERIA**

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия, romanov_r_e@ngs.ru

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, lechem@ibiw.yaroslavl.ru, aeonium25@mail.ru

R.E. Romanov¹, E.V. Chemeris², V.S. Vishnyakov²

**THE MACROSCOPIC ALGAE OF CONTINENTAL WATER BODIES. STREPTOPHYTA: CHARALES,
RHODOPHYTA, OCHROPHYTA: VAUCHERIA**

¹Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia, romanov_r_e@ngs.ru

²I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, lechem@ibiw.yaroslavl.ru, aeonium25@mail.ru

Харовые водоросли представлены шестью современными родами и ~400 видами, в том числе 46 – в России: 37 – в Европейской и 34 – в Азиатской части. Это прикрепленные одно- и многолетние (преимущественно вегетативно однолетние) водоросли, с талломами состоящими из повторяющихся сегментов и ризоидов, проникающих между частицами грунта. Харовые – одни из наиболее крупных водорослей пресных, олиго- и мезогалинных континентальных водных экосистем и опресненных участков морей. Они известны как индикаторы чистой, бедной биогенными элементами воды, однако ряд видов способен существовать в эвтрофных и гиперэвтрофных водах. Низкая конкурентоспособность по сравнению с высшими растениями объясняет их развитие в недавно возникших водоемах или на участках с нарушенным растительным покровом, а также в техногенных водоемах с высокими концентрациями тяжелых металлов или радионуклидов. В харовых озерах с прозрачной и жесткой водой они являются основой растительного покрова. Устойчивое существование их сообществ характерно для озер с высокой прозрачностью воды и низкой или умеренной концентрацией биогенных элементов. Фитоценозы относятся к одно-

му классу *Charetea fragilis* и порядкам *Nitellitalia flexilis* преимущественно пресных слабокислых–нейтральных вод, *Charetalia hispidae* преимущественно пресных слабощелочных и щелочных, *Charetalia canescentis* солоноватых слабощелочных и щелочных вод. Крайне редко харовые водоросли развиваются в наземной среде. Кроме функций первичных продуцентов они увеличивают прозрачность воды благодаря седиментации взвешенных частиц на талломах и стабилизации донных осадков. Харовые водоросли извлекают биогенные элементы преимущественно из воды и могут выступать как агент их осаждения. Осаждающийся в результате их фотосинтеза карбонат кальция связывает растворенные соединения фосфора, т.е. выводит их из водной толщи. Харовые способны концентрировать радионуклиды, цианиды, тяжелые металлы, которые могут накапливаться в донных осадках под их талломами. Это позволяет использовать их для очистки щелочных техногенных сточных вод и фиторемедиации водоемов. Аллелопатическая активность образуемых ими веществ может отражаться на составе и обилии фитопланктона. Таким образом, представители этой группы структурируют водную толщу, формируют и поддерживают условия среды для других организмов. Харовые очень чувствительны к эвтрофированию, которое привело к значительному снижению их обилия и встречаемости в странах Европы, а также в Японии и Китае. В Красную книгу РФ включены *Chara filiformis* и *C. strigosa*, 17 видов внесены в Красные книги 13 регионов и предложены к включению в других 10 регионах.

Красные водоросли представлены ~5000 видами, преимущественно морскими, пресноводных ~200 видов. Багрянки достаточно обычный компонент разнообразных пресноводных экосистем, в которых представлены более мелкие и просто устроенные организмы. Наибольшее их разнообразие сосредоточено в холодных чистых текущих водах (родниках, ручьях, в верховьях рек и на участках с обильным грунтовым питанием) с низкой или средней минерализацией (0–350 мг/л) и слабокислым или близким к нейтральному значению рН (5.5–7.5). Большинство видов – донные организмы, прикрепляющиеся к плотным субстратам (*Batrachospermum*, *Lemanea* и др.), или другим растениям (*Audouinella*), очень мало колониальных форм (*Chroothese*). У многих имеется чередование несходных по строению поколений гаметофита и спорофита и выраженная сезонная динамика. В южных регионах пик развития приходится на февраль–май; в умеренных широтах на апрель–июнь; на севере июль–август. Багрянки в пресноводных экосистемах умеренных широт патенты и проявляют свои фитоценотические свойства в узком диапазоне условий (высокие скорости течения, затенение, чистая холодная или цветная вода, специфическая гидрохимия, наличие плотных субстратов). Фитоценозы относятся к одному классу *Lemaneetea fluviatilis* и порядку *Lemaneetalia fluviatilis*. Два союза *Lemaneion fluviatilis* и *Batrachospermion gelatinosi* разделяют ценозы быстро (скорость течения до 2 м/с) и медленно (до 0.5 м/с) текущих вод. Сообщества развиваются в чистых водах: по шкале сапробности соответствующих от катаробных до олигосапробных (*Batrachospermetum vagi*) и от олиго- до бета-мезосапробных (*Lemaneetum fluviatilis* и *Batrachospermetum gelatinosi*). В пресноводных экосистемах красные водоросли важны как пионерные организмы, создающие первичное органическое вещество и убежище для других организмов в экстремальных условиях и в период с поздней осени до ранней весны. Сведения об этой группе водорослей для территории России крайне скудны. На настоящий момент известно порядка 30 таксонов пресноводных красных водорослей, которые распространены по территории неравномерно. Некоторые виды встречаются крайне редко. *Lemanea sudetica*, *Sirodotia suecica* и *Thorea hispida* занесены в Красную книгу РФ, кроме них 6 видов пресноводных багрянок включены или предложены к включению в краснокнижные списки 11 регионов.

Сифональные желто-зеленые водоросли рода *Vaucheria* (~70-120 видов в мировой флоре) представлены в континентальных водах и почвах России 21 (22) ви-

дами. Систематика этого рода традиционно базируется на морфологической концепции вида, при этом внешний вид таких генеративных структур, как гаметангии служит важнейшим критерием для разграничения таксонов. Методологические трудности в изучении вошерий связаны в первую очередь с редким обнаружением их в фертильном состоянии *in situ*, а также сложностью поддержания в культуре. Толерантность вошериевых в отношении целого комплекса неблагоприятных экологических факторов позволяет им осваивать разнотипные экотопы, как водные (пресные и солоноватые водоемы, выходы грунтовых вод, водотоки, болота), так и разнообразные наземные, или аэрофильные (почвы, солончаки, обсыхающие грунты водоемов и водотоков). Альгогруппировкам, образованным вошериями, свойственна эфемерность развития. Эти водоросли выступают эдификаторами на начальных этапах вторичных сукцессий ряда водных и наземных местообитаний. Vegetация вошерий продолжается весь бесснежный период года, но максимальное видовое разнообразие и обильное образование ооспор приходится на летние месяцы; их пики также могут проследиваться весной и осенью. Переход к половому размножению может инициироваться абиотическими факторами разного генеза, нередко носящими неблагоприятный для водорослей характер. Вошериевым принадлежат важные экологические функции в биоценозах с их участием. В частности, они стабилизируют подвижные грунты. Не только топически, но и трофически с дернинами *Vaucheria* связаны многие почвенные и водные беспозвоночные, включая паразитических, а также микроводоросли, грибы и бактерии. Эти функции, а также способность к аккумуляции большого количества органики среди плотно переплетенных талломов должны получить свою оценку в альгоиндикационных и санитарных исследованиях. Важно отметить, что разнообразие и география видов *Vaucheria* остаются крайне слабо исследованными на всей территории России. Большинство видов вошерий известны по единичным или немногочисленным локалитетам, а некоторые из них не подтверждаются находками в течение многих десятилетий (например, *V. megaspora*). Все это значительно затрудняет выявление эволюционно перспективных видов.

Р.Е. Романов¹, В.В. Чепинога², В.С. Вишняков³, Б.Б. Базарова⁴, М.Г. Азовский⁵, А.П. Куклин⁴
ХАРОВЫЕ ВОДРОСЛИ (STREPTOPHYTA: CHAROPHYCEAE, CHARALES)
БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ

¹ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия, romanov_r_e@ngs.ru

² Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, ИГУ, г. Иркутск, Россия, victor.chepinoga@gmail.com

³ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, aeonium25@mail.ru

⁴ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, kap0@mail.ru

⁵ Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия, azovsky@igc.irk.ru

R.E. Romanov¹, V.V. Chepinoga², V.S. Vishnyakov³, B.B. Bazarova⁴, M.G. Azovskii⁵, A.P. Kuklin⁴
CHAROPHYTES (STREPTOPHYTA: CHAROPHYCEAE, CHARALES) OF BAIKALIAN SIBERIA

¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia, romanov_r_e@ngs.ru

² V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia,

³ I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, aeonium25@mail.ru

⁴ Institute of natural resources, ecology and cryology SB RAS, Chita, Russia, kap0@mail.ru

⁵ A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia, azovsky@igc.irk.ru

Флора, распространение, экология харовых водорослей (Streptophyta: Charales) крупных регионов Северной Азии изучены неравномерно. Большая часть данных получена для Западно-Сибирской равнины, для которой известны 23 вида из пяти родов (Сафонова, 2003; Schubert, Blindow, 2003; Romanov, Kipriyanova, 2009). Цель настоящей работы – характеристика видового состава, распространения, экологии и фитоценотической роли харовых водорослей Байкальской Сибири (Иркутская обл., Республика Бурятия, Забайкальский край).

До наших исследований для этого региона было известно 16 видов харовых водорослей, в том числе 12 – *Chara* и 4 – *Nitella* (Georgi, 1775; Turczaninow, 1838; Ruprecht, 1845; Braun, Nordstedt, 1882; Dorogostajsky, 1905; Дорогостайский, 1906; Migula, 1904; Мейер, 1922, 1930; Мейер, Рейнгардт, 1925; Vilhelm, 1928; Вильгельм, 1930; Верещагин, 1936; Воронин [Воронихин] и др., 1936; Свидерская, Скориков, 1936; Голлербах, 1950; Кожов, 1950; Ижболдина, 1976, 1990, 2007; Золотарева, 1996, 1998; Золотарева, Коряков, 1994, 1996; без учета публикаций авторов данного сообщения): *C. abnormiformis* Vilh., *C. arcuatofolia* Vilh., *C. contraria* A. Braun ex Kütz., *C. crassicaulis* Schleicher, *C. fischeri* Mig., *C. fragifera* Durieu, *C. globularis* Thuill., *C. gymnophylla* A. Braun, *C. hispida* (L.) Hartm., *C. strigosa* A. Braun, *C. tomentosa* L., *C. vulgaris* L., *N. flexilis* (L.) C. Agardh, *N. gracilis* (Smith) C. Ag., *N. mucronata* (A. Braun) Miquel in H.C. Hall emend. Wallm. и *N. opaca* (Bruz.) C. Ag. Из них только три вида (*C. contraria*, *C. globularis* и *C. tomentosa*) подтверждены материалами LE.

Из списка видов необходимо исключить *C. abnormiformis*, который приведен с ошибочным цитированием автора для озер Кенон, Иван, Шакша (Золотарева, 1996) и, наиболее вероятно, был идентифицирован по диагнозу, приведенному в статье М.М. Голлербаха (1950). Поскольку этот вид рассматривается как синоним или разновидность *C. altaica* A. Braun in A. Braun et Nordst. (Голлербах, Красавина, 1983; van Raam, 2010), известного из олиго- и мезогалинных вод юга Сибири, Центральной и Восточной Азии, данное указание для пресного озера без подтверждающих образцов является недостоверным. Присутствие семи других видов, каждый из которых известен только из одного местонахождения, требует подтверждения. Эти данные являются единственными указаниями (*C. crassicaulis*, *C. gymnophylla*) или эти виды известны из немногих местонахождений в Северной Азии (*C. arcuatofolia*, *C. fischeri*, *C. fragifera*, *C. hispida*, *N. gracilis*).

На основе новых данных, полученных в результате обработки около 400 листов гербария и фиксированных проб, собранных с 1979 по 2013 г., выявлено 12 видов и одна разновидность, в том числе 8 видов *Chara*, 3 – *Nitella* и 1 – *Tolypella*: *C. contraria*, *C. globularis*, *C. inconnexa* Allen, *C. rudis* A. Braun in Leonh., *C. strigosa*, *C. tomentosa*, *C. virgata* Kütz., *C. vulgaris*, *N. flexilis* var. *flexilis* et var. *fryeri* J. Groves et Bullock-Webster, *N. mucronata*, *N. opaca*, *T. prolifera* (Ziz ex A. Braun) Leonh.). Среди них – новый вид для России (*C. inconnexa*), а также один род (*Tolypella*), четыре вида и одна разновидность, новые для Байкальской Сибири (*C. inconnexa*, *C. rudis*, *C. virgata*, *N. flexilis* var. *fryeri*, *T. prolifera*).

Вид *C. inconnexa* является сомнительным; возможно, это один из крайних вариантов изменчивости *C. contraria*. Этот вид также найден в южной Якутии (Романов и др., 2012). *C. inconnexa* имеет широкий ареал, в пределах которого, по имеющимся данным, встречается очень редко. Известны его находки из Северной Америки, Северной Африки, о. Мадагаскар, Восточной и Южной Европы, Западной, Восточной и Южной Азии (Wood, Imahori, 1965; Corillion, Guerlesquin, 1971; Altinayar, Onursal, 1982; Ray, Chatterjee, 1986; Compère, 1986; Mann, 1989, 1994; Zhang et al., 2008). Растения, которые могут быть отнесены к *C. inconnexa*, обнаружены также на юге Западно-Сибирской равнины (Романов, неопубл. данные).

Подтверждено присутствие, по-видимому, евроазиатского ледникового реликта, крайне редкого в Северной Азии *C. strigosa*, включенного в Красную книгу России (2008). Местонахождения редких в Азии *T. prolifera* и *C. rudis* также являются наиболее восточными в Северной Азии. Первый вид является субкосмополитом, основная часть ареала которого расположена в умеренном и субтропическом географических поясах северного полушария (Вишняков, Романов, 2012). *C. rudis* является почти исключительно европейским видом, в Азии известны его немногие местонахождения на Южном Урале, Алтае и в Северной Монголии (Голлербах, Красавина, 1983; Вейсберг, Исакова, 2010; Прозоров, 1988).

Вид *T. prolifera* включен в Красную книгу Республики Бурятия (2013). Очень редкие в Байкальской Сибири стенобионтные виды *C. rudis*, *C. strigosa* необходимо включить в Красные книги соответствующих регионов. Наиболее часто встречены виды *C. globularis* и *C. contraria*. Подавляющее большинство видов и популяций харовых водорослей выявлено в озерах, из рек известны только *C. contraria*, *C. globularis*, *C. inconnexa* и *C. vulgaris*. Виды *N. flexilis*, *C. globularis*, *C. contraria*, *C. rudis*, *C. strigosa*, *C. tomentosa*, *C. vulgaris* образуют сообщества. В крупных глубоких озерах региона ценозы харовых водорослей существуют на протяжении многих лет и формируют собственные пояса.

В целом, флора харовых водорослей исследованного региона сходна с флорами Алтае-Саянской горной страны и Южного Урала (коэффициент Серенсена 0.57–0.58), в меньшей степени – с флорами юго-востока Западной Сибири (0.51), Казахского мелкосопочника и бассейна озера Балхаш (0.46 и 0.36 соответственно). Таким образом, для Байкальской Сибири на данный момент по литературным и оригинальным данным известно 20 видов харовых водорослей, но только 12 видов достоверно подтверждены гербарными образцами. Также можно предполагать присутствие *C. altaica*, *C. aspera* Willd., *C. canescens* Desv. et Lois. in Lois. в олигогалинных водах этого региона.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 05-05-64061, 14-04-31596, 14-04-00771) и бюджетного проекта VI.52.1.3 и

А.С. Рябова¹, Ш.Р. Абдуллин²

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА α -РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРОСЛЕЙ ПЕЩЕР

¹ Институт Биологии УНЦ РАН, г. Уфа, Россия, alenarya@rambler.ru

² Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия, abdullinshrbu@mail.ru

A.S. Ryabova¹, Sh.R. Abdullin²

INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON α -DIVERSITY OF CAVE CYANOBACTERIA AND ALGAE

¹ Institute of Biology of Ufa Research Center of RAS, Ufa, Russia, alenarya@rambler.ru

² Bashkir State University, Ufa, Russia, abdullinshrbu@mail.ru

Влияние человека на экосистемы пещер с каждым годом возрастает, что ведет к их антропогенной трансформации. Однако определение уровня антропогенной нагрузки на пещеры с помощью биоиндикации разработано слабо. Известно, что антропогенный занос является одним из путей проникновения цианобактерий и водорослей в пещеры (Абдуллин, 2005). Цель данной работы – определение влияния антропогенной нагрузки на альфа-разнообразие цианобактерий и водорослей и некоторые связанные с ним параметры в пещеры Киндерлинская.

Пещера Киндерлинская расположена в Гафурийском районе Республики Башкортостан, на правом склоне р. Киндерля в 5 км к востоку от деревни Таш-Асты. Это многоярусная система галерей, коридоров и ходов. Пещера залегает в известняках верхнего девона. Ее протяженность составляет 7900 м, амплитуда — 215 м (Андреев, 1978). Пещера была подвержена сильной антропогенной нагрузке. В ноябре 2010 г. для снижения посещаемости в ней установлена решетка, а в декабре 2011 г. пещера Киндерлинская была официально объявлена памятником природы

Для изучения влияния антропогенной нагрузки на альфа-разнообразие цианобактерий и водорослей в Киндерлинской пещере с разных участков с различной удаленностью от входа и уровнем антропогенной нагрузки стандартными методами было отобрано 7 проб грунта в феврале 2010 г., 9 проб грунта в феврале 2011 г., 6 проб грунта в июле 2013 г. Выявление видового состава цианобактерий и водорослей в пробах проводилось в лаборатории прямым микроскопированием, на “стеклах обрастания” и после культивирования проб в жидкой минеральной среде № 6. Оби-

лие оценивалось по 7-балльной шкале. Определялись показатели альфа-разнообразия: общее число видов, среднее число видов в 1 пробе, сумма баллов обилия, среднее число баллов обилия в 1 пробе, индекс Шеннона-Уивера, доминирующие отделы, наиболее часто встречающиеся и сквозные виды (Кузяхметов, Дубовик, 2001).

В пробах, отобранных в 2010 г., были обнаружены 34 вида водорослей и цианопрокариот, относящихся к трем отделам: Cyanoprokaryota - 12 видов (35.3%), Bacillariophyta – 8 видов (23.5%) и Chlorophyta – 14 видов (41.1%). В ходе исследования образцов грунта, отобранных в 2011 году, были обнаружены 19 видов водорослей и цианопрокариот: Cyanoprokaryota – 8 видов (42.1%), Bacillariophyta – 6 видов (31.6%), Chlorophyta – 5 видов (26.3%). В образцах 2013 года были идентифицированы 14 видов, среди которых Cyanoprokaryota – 4 вида (28.6%), Bacillariophyta – 4 вида (28.5%) и Chlorophyta – 6 видов (42.9%).

Для определения влияния антропогенной нагрузки пещеру условно поделили на 3 зоны. Первая зона с высокой антропогенной нагрузкой: всегда открытая, легкий доступ для туристов любой подготовки, посещаемость больше 4000 человек в год (терраса у входа и Входная галерея). Вторая зона со средним уровнем антропогенной нагрузки: периодически закрытая решеткой, требуется подготовка для прохождения, посещаемость в пределах 1000 человек в год (залы Бороды, Обвальный, Классический и Третья часть пещеры). Третья зона с низким рекреационным воздействием: отличается сложностью прохождения и посещаемостью ниже 1000 человек в год (зал Каминный, ход Подарочный и ход к озеру за залом Обвальный) (Соколов, 2009).

В 2010 г. наибольшее общее число видов (12), сумма баллов обилия (60) и индекс Шеннона-Уивера (3.17) были выявлены при среднем уровне антропогенной нагрузки. При переходе от первой зоны к третьей наблюдалось уменьшение среднего числа видов на 1 пробу (от 5.0 до 2.0) и среднего числа баллов обилия на 1 пробу (от 20.5 до 7.5). Во всех трех зонах доминировали представители отдела Chlorophyta. В первой зоне наиболее часто встречался вид *Leptolyngbya boryana*, во второй – *Nostoc paludosum*, в третьей зоне наиболее часто встречающиеся виды отсутствовали. Во всех зонах встречались виды *Leptolyngbya boryana*, *Amphora montana*, *Mychonastes homosphaera*.

В 2011 г. общее число видов в первой зоне (12) и второй зоне (13) было практически одинаковым, максимальная сумма баллов обилия (89) выявлена во второй зоне. При снижении антропогенной нагрузки наблюдалось уменьшение среднего числа видов на 1 пробу (от 7.0 до 3.0), среднего числа баллов обилия на 1 пробу (от 34.0 до 14.3) и индекса Шеннона-Уивера (от 2.40 до 1.99). Во второй зоне доминировали представители отдела Chlorophyta, в третьей - Cyanoprokaryota. В первой зоне наиболее часто встречались виды *Leptolyngbya boryana* и *Mychonastes homosphaera*, во второй – *Leptolyngbya terebrans*, в третьей – *Mychonastes homosphaera*. Во всех зонах встречались виды *Nostoc punctiforme*, *Mychonastes homosphaera*, *Muriella magna*, *Muriella terrestris*, *Phormidium ambiguum*.

В 2013 г. при переходе от первой зоны ко второй наблюдалось уменьшение общего числа видов (от 11 до 6), среднего числа видов на 1 пробу (от 5.5 до 1.5), суммы баллов обилия (от 54 до 41), среднего числа баллов обилия на 1 пробу (от 27.0 до 10.3) и индекса Шеннона-Уивера (от 2.12 до 1.65). В третьей зоне цианобактерии и водоросли не обнаружены. В первой зоне доминировали представители отдела Chlorophyta, во второй – Cyanoprokaryota. В первой и второй зоне наиболее часто встречались виды *Leptolyngbya boryana* и *Mychonastes homosphaera*. Сквозными видами в этих зонах были *Leptolyngbya boryana*, *Mychonastes homosphaera*, *Chlorella vulgaris*.

Таким образом, наиболее точно степень антропогенной нагрузки отражают среднее число видов на 1 пробу, среднее число баллов обилия на 1 пробу и, в меньшей степени, индекс Шеннона-Уивера. Сходная закономерность была отмечена в пещере Левобережная (Ленинградская обл.) (Абдуллин, 2012). Таким образом, данные показатели могут использоваться при альгоиндикации уровня антропогенной нагрузки в пещерах.

Абдуллин Ш.Р. Цианобактерии и водоросли пещеры Шульган-Таш (Каповой): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа: 2005. 16 с.

Абдуллин Ш.Р. Цианобактерии и водоросли пещеры Левобережная (Ленинградская область) // Ботан. журн. 2012. Т. 97. № 8. С. 1040–1051.

Андреев А.С. Пещера "Победа" // Карст Южного Урала и Приуралья. Уфа, 1978. С. 142–147.

Кузяхметов Г.Г., Дубовик И.Е. Методы изучения почвенных водорослей: Учебное пособие. Уфа: Изд-во БашГУ, 2001. с.

Соколов Ю. В. Спелеотуристический потенциал Республики Башкортостан // Природное и культурное наследие южного Урала как инновационный ресурс: Матер. Всеросс. научн.-практич. конф., посвященной 50-летию открытия А.В. Рюминым палеолитической живописи в пещере Шульган-Таш (Каповой). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. С. 27–39.

О.Н. Селиванова, Г.Г. Жигадлова

МОРСКИЕ ЭПИ- И ЭНДОФИТНЫЕ ВОДОРОСЛИ ИЗ ПРИКАМЧАТСКОЙ АКВАТОРИИ

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, oselivanova@mail.ru

O.N. Selivanova, G.G. Zhigadlova

MARINE EPI- AND ENDOPHYTIC ALGAE FROM THE NEAR-KAMCHATKA WATER AREA

Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatskii, Russia, oselivanova@mail.ru

Эпифитон морских бентосных водорослей российской акватории Тихого океана изучен пока слабо. Хотя в литературе уже имелись немногочисленные работы по эпифитизму макрофитов Приморья, Сахалина, Охотского моря (Паймеева, 1975; Суховеева, 1975; Перестенко, Чумаков, 2001), целенаправленные научные исследования в прикамчатской акватории начаты лишь недавно (Жигадлова, 2011). Многие виды водорослей-макрофитов, обычно произрастающие эпипитно, способны поселяться на других водорослях, становясь биообрастателями, так называемыми факультативными эпифитами. Группу облигатных эпифитов образуют мелкие, чаще всего микроскопические виды, в число которых входят и эндофиты, поселяющиеся в тканях других водорослей. Эта специализированная группа эпифитона мало изучена из-за сложности ее идентификации и сбора.

Нами изучен материал, собранный в ходе многолетних альгофлористических исследований в различных районах Восточной Камчатки, включая Берингово море и Командорские острова. Определение видов водорослей проводили с использованием определителей и крупных таксономических работ отечественных и зарубежных авторов (Виноградова, 1979; Nielsen, 1984; Nielsen et al., 2013 (зеленые водоросли); Abbott, Hollenberg, 1976 (бурые водоросли); Garbary et al., 1982; Перестенко, 1994; Harper, Saunders, 2002 (красные водоросли)).

Объединенный список обнаруженных к настоящему времени микроскопических эпи- и эндофитных водорослей шельфа Восточной Камчатки составил 45 видов, принадлежащих трем отделам: 15 видов зеленых (Chlorophyta), 11 видов бурых (Heterokontophyta, class Phaeophyceae) и 20 видов красных водорослей (Rhodophyta). При этом 19 видов из 45 были впервые указаны нами для дальневосточных морей России в ряде публикаций: *Ulvelia apiculata* (Setchell et N.L.Gardner) O'Kelly, *Ulvelia lens* P.L. Crouan et H.M.Crouan, *Compsonema serpens* Setchell et N.L.Gardner, *Hecatonema primarium* (Setchell et N.L.Gardner) Loiseaux, *Myrionema balticum* (Reinke) Foslie, *Myrionema magnusii* (Sauvageau) Loiseaux, *Streblonema myrionematoides*

Setchell et N.L.Gardner, *Streblonema pacificum* De A.Saunders, *Streblonema porphyrae* Setchell et N.L.Gardner, *Streblonema scabiosum* Setchell et N.L.Gardner, *Acrochaetium densum* (K.M.Drew) Papenfuss, *Acrochaetium microscopicum* (Nägeli ex Kützing) Nägeli, *Acrochaetium plumosum* (K.M.Drew) G.M.Smith, *Acrochaetium porphyrae* (K.M.Drew) G.M.Smith, *Colaçonema desmarestiae* (Kylin) P.W.Gabrielson, *Colaçonema endophyticum* (Batters) J.T.Harper et G.W.Saunders, *Colaçonema pacificum* (Kylin) Woelkerling, *Erythrocladia irregularis* Rosenvinge, *Pseudorhododiscus nipponicus* Masuda.

Кроме новых находок, особого внимания заслуживают уже известные виды, систематическое положение которых либо до сих пор не выяснено, либо неоднократно пересматривалось за последнее время.

Chlorochytrium inclusum Kjellman, *Codiolum gregarium* A. Braun. Виды указаны под старыми условными названиями, широко известными в литературе, хотя в настоящее время считается, что они представляют собой спорофитные стадии ряда зеленых нитчатых водорослей, в частности, первый вид, скорее всего, является стадией *Spongomorpha aeruginosa* (Linnaeus) Hoek, а второй - *Urospora penicilliformis* (Roth) Areschoug.

Epicladia flustrae Reinke. Вид был указан в Беринговом море и на Командорских островах (Виноградова, 1979; Selivanova, Zhigadlova, 1997) как *Entocladia flustrae* Reinke (Batters), хотя Нильсен (Nielsen, 1984) предложила восстановить более раннее название для данного вида - *Epicladia flustrae*. Позднее его статус был пересмотрен, вид переведен в состав рода *Acrochaete* (Gabrielson et al., 2006). Затем таксономия данного вида, как и генетические границы семейства Ulvellaceae в целом, вновь были подвергнуты ревизии и еще раз восстановлено название *Epicladia flustrae* (Nielsen et al., 2013).

Ulvella pterosiphoniae (Nagai) Selivanova et Zhigadlova, comb. nov.

Basionym: *Entocladia pterosiphoniae* Nagai, Marine algae of the Kurile Islands, 1940: 22, tab. 1, fig. 16, 17. Вид был указан в дальневосточных морях как *Entocladia pterosiphoniae* Nagai (Виноградова, 1979). Позднее он был переведен нами в род *Acrochaete* как *A. pterosiphoniae* (Nagai) Zhigadlova (Selivanova, Zhigadlova, 2009). Но в свете недавней ревизии рода *Acrochaete* на базе молекулярно-генетических данных (Nielsen et al., 2013) возникла необходимость перевода таксона в род *Ulvella* с образованием номенклатурной комбинации, предложенной выше.

Наряду с приведением видового списка эпифитов в соответствие с современными таксономическими данными, наши исследования существенно расширили представления об ареалах видов, отмеченных ранее или только в американском секторе Тихого океана (*U. apiculata*, *H. primum*, *S. myrionematoides*, *S. pacificum*, *S. porphyrae*, *S. scabiosum*, *C. serpens*), или только у берегов Японии (*P. nipponicus*).

В ряде случаев наши данные дополнили имеющуюся литературную информацию по экологии отдельных видов, в частности, *E. flustrae* и *Zygomitus reticulatus* Bournet et Flahault, описанные как эндозооиды, а *Meiodiscus concrescens* (K.M. Drew) P.W. Gabrielson – как эпизооид, нами встречены как эпифиты. При этом видоспецифичной взаимосвязи между эпи- и эндофитами и их хозяевами не выявлено.

Виноградова К.Л. Определитель водорослей дальневосточных морей. Зеленые водоросли. Л.: Наука, 1979. 147 с.

Жигадлова Г.Г. Эпифиты и эндофиты водорослей рода *Palmaria* Stackhouse у берегов Восточной Камчатки // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 164. С. 300–311.

Паймеева Л.Г. Обрастания зостеры Японского моря // Изв. ТИНРО. 1975. Т. 98. С. 193–201.

Перестенко Л.П. Красные водоросли дальневосточных морей России. СПб: Изд-во "Ольга", 1994. 331 с.

Перестенко Л.П., Чумаков А.А. Эпифиты *Laminaria japonica* Aresch. f. *longipes* (Miyabe et Tokida) Ju. Petrov с острова Сахалин // Новости сист. низш. раст. СПб: Наука. 2001. Т. 35. С. 26–30.

Суховеева М.В. Эпифиты ламинариевых дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. 1975. Т. 98. С. 184–192.

- Abbott I.A., Hollenberg G.J. Marine Algae of California. Standford: Standford Univ. Press. 1976. 827 p.
- Gabrielson P.W., Widdowson T.B., Lindstrom S.C. Keys to the seaweeds and seagrasses of Southeast Alaska, British Columbia, Washington and Oregon // Phycol. Contrib. Univ. of British Columbia. Vancouver, Canada. 2006. № 7, 209 p.
- Garbary D.J., Hansen G.I., Scagel R.F. The marine algae of British Columbia and northern Washington: Division Rhodophyta (Red Algae), Class Florideophyceae, Orders Acrochaetales and Nemaliales // Syesis. 1982. № 15 (Supplement 1), P. 1–102.
- Harper J.T., Saunders G.W. A re-classification of the Acrochaetales based on molecular and morphological data, and establishment of the Colaconematales, *ord. nov.* // British Phycol. J. 2002. № 37. P. 463–475.
- Nagai M. Marine algae of the Kurile Islands // J. Fac. Agriculture, Hokkaido Imp. Univ. 1940, № 46, P. 1–137.
- Nielsen R. *Epicladia flustrae*, *E. phillipsii* stat nov., and *Pseudendoclonium dynamenae* sp. nov. living in bryozoans and a hydroid. // British Phycol. J. 1984. № 19. P. 371–379.
- Nielsen R., Petersen G., Seberg O., et al. Revision of the genus *Ulvella* (Ulvellaceae, Ulvophyceae) based on morphology and *tufA* gene sequences of species in culture, with *Acrochaete* and *Pringsheimiella* placed in synonymy // Phycologia. 2013. V. 52. № 1. P. 37–56.
- Selivanova O.N., Zhigadlova G.G. Marine algae of the Commander Islands. Preliminary remarks on the revision of the flora. I. Chlorophyta // Bot. Mar. 1997. V. 40. P. 1–8.
- Selivanova O.N., Zhigadlova G.G. Marine benthic algae of the South Kamchatka state wildlife sanctuary (Kamchatka, Russia) // Bot. Mar. 2009. V. 52. P. 317–329.

А.С. Стенина

РАЗНООБРАЗИЕ ВАСИЛЛАРИОФЫТА В РОДНИКОВЫХ ОЗЕРАХ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Институт биологии, Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, stenina@ib.komisc.ru

A.S. Stenina

DIVERSITY OF BACILLARIOPHYTA IN THE SPRING LAKES OF THE PREPOLAR URALS

Institute of Biology, Komi SC Ural Division RAS, Syktyvkar, Russia stenina@ib.komisc.ru

Своеобразным типом водоемов являются родниковые озера, питающиеся глубинными минерализованными водами источников. Сведения об альгофлоре таких озер на Европейском Северо-Востоке до настоящего времени отсутствовали. В рамках программы по исследованию биоразнообразия водных экосистем Приполярного Урала изучены диатомовые водоросли двух родниковых водоемов. Они расположены в бассейне р. Кожым (приток р. Косью) в районе хребта Сыл-Бок Чугра на высоте 180–220 м над у. м. на территории национального парка Югыд-ва.

Водоемы незамерзающие, носят название «Теплые озера». Даже в зимний период температура воды составляет 7–10°C, по некоторым данным, 13.5°C. Один водоем, более крупный, находится в районе ручья Ниа-ю, впадающего в р. Сывью – приток р. Кожым. Озеро длиной 30–35 м, шириной 15–20 м, максимальная глубина 1.5 м. Из него вытекает широкий водоток с водой зеленовато-голубоватого цвета. Второе озерко размерами 4 м x 1.5 м, глубиной 0.5 м расположено в верховьях правого притока ручья Большой Седзьель. Донные отложения в водоемах преимущественно галечниковые, с валунами, у берега илистые, местами глинистые и песчаные. По всей площади дна выделяются пузырьки газа без запаха. Вода прозрачная с зеленовато-голубоватым оттенком. Из макрофитов распространены зеленые мхи. Изучены качественные пробы фитобентоса и обрастаний растительных и каменистых субстратов, собранные сотрудниками Республиканского Центра по спорту и туризму В.Ю. Данько, И.И. Николашенковым и М.А. Еремкиным. Диатомовые водоросли определены автором в постоянных препаратах после обработки материала горячим способом концентрированной серной кислотой с использованием основных определителей (Диатомовые ..., 1992; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991 a, b). Экологические характеристики приведены по литературным источникам (Van Dam et al., 1994; Баринава и др., 2006).

К настоящему времени в исследованных водоемах выявлено 112 видов с разновидностями и формами диатомовых водорослей из 46 родов, которые относятся к 23 семействам и 13 порядкам. Ведущую роль в формировании видового состава играют представители класса Bacillariophyceae. Первое место в нем занимает порядок

Naviculales, включающий 30 видов с разновидностями и формами. Достаточно разнообразны также порядки Cymbellales (17), Achnanthes (16) и в меньшей степени – Bacillariales (10 таксонов рангом ниже рода). В семейственном спектре на первое место по разнообразию выходит семейство Fragilariaceae, содержащее 22 вида с разновидностями и формами. За ним следуют Naviculaceae (14), Achnanthidiaceae, Cymbellaceae (по 11) и Bacillariaceae (10 таксонов). Слабо представлены семейства Cocconeidaceae, Gomphonemataceae, Pinnulariaceae, Rhopalodiaceae (по 5 таксонов). Остальные включают в основном по 1-3 таксона. Среди родов наиболее богаты видами *Navicula* (13) и *Nitzschia* (10), среда обитания большинства из которых – поверхность илистых отложений. Не отмечены виды из родов *Brachysira*, *Chamaepinnularia*, *Diademsis*, *Frustulia*, *Psammothidium*, *Tabellaria* и ряд других, встречающихся в озерах других типов. Малочисленны и единичны виды из родов *Pinnularia* и *Eunotia*, характерные для заболоченных водоемов.

Флористическое богатство колеблется от 94 в озере до 53 видов с внутривидовыми таксонами в озерке; основные комплексы диатомей с обилием от 6 до 3 баллов включают 48 и 30 таксонов. Сходство состава диатомовых небольшое, коэффициент Сьеренсена-Чекановского равен 0.49, а для доминирующих комплексов – 0.44. Общие виды из числа доминантов и субдоминантов – *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kützing, *Planothidium lanceolatum* (Griffiths ex Kützing) Lange-Bertalot, *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams et Round. В озере, кроме того, доминируют *Achnanthidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Cocconeis placentula* Ehrenberg var. *placentula*, *Gomphonema clavatum* Ehrenberg, *Melosira varians* C. Agardh, *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) Williams et Round и *Staurosira venter* (Ehrenberg) Kobayasi. Положение субдоминантов занимают семь видов из родов *Amphora*, *Epithemia*, *Navicula* (*N. cryptocephala* Kützing, *N. gregaria* Donkin, *N. veneta* Kützing), *Nitzschia*, *Planothidium*. Им сопутствуют 32 вида с разновидностями из различных родов. В озерке, кроме вышеуказанных общих доминантов, в числе преобладающих *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow. Комплекс сопутствующих включает 26 таксонов. Общими в группах сопутствующих с оценками обилия 3 балла являются всего девять представителей из родов *Cocconeis*, *Ellerbeckia*, *Encyonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Planothidium*, *Rhoicosphenia* и *Sellaphora*.

В составе диатомовых преобладают донные диатомеи (45) с эпифитами (34 таксона), очень слабо представлены истинно-планктонные (2 вида) вследствие мелководности водоемов. По отношению к содержанию солей 64% составляют индифференты (71 таксон). Среди индикаторных групп на первом месте галофилы (21) с мезогалолами (4 таксона). В их числе *Melosira varians* C. Agardh, *Navicula veneta*, *N. gregaria* Donkin, *Tabularia tabulata* (C. Agardh) Snoeijs. Более часто они встречаются в озере, где вода хлоридно-натриевого состава с минерализацией до 1012,8 мг/дм³ и удельной электропроводностью до 838 мкС/см. В озерке с гидрокарбонатно-кальциевым составом (260 мг/дм³; 283 мкС/см) мезогалолабы единичны, и галофилов мало. Галофобы в составе обоих водоемов малочисленны (16 таксонов; 14%). В pH-спектре преобладают алкалофилы с алкалобионтами (74 таксона; 67%), что соответствует слабощелочной и близкой к нейтральной среде (pH 7.4-7.8). Значительно меньше циркумнейтральных (33 таксона; 29%) и особенно ацидофильных видов (5 таксонов; 4%). В основе состава – диатомеи, характерные для условий от мезотрофных до гиперэвтрофных (47; 43%), и толерантные таксоны (42; 38%). Индикаторов олиготрофных вод немного (13 таксонов; 12%). Состав диатомовых в изученных родниковых водоемах состоит в основном из космополитов (82; 73%) с небольшой долей бореальных (22; 20%) и аркто-альпийских (8; 7%) таксонов.

Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных исследований, проект Президиума РАН, раздел: «Живая природа» № 12-П-4-1018

«Видовое, ценотическое и экосистемное разнообразие ландшафтов территории объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Девственные леса Коми».

Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Tel-Aviv: Русское изд-во, 2006. 498 pp.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л.: Наука, 1992. Т. 2, вып. 2. 189 с.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Jena, 1986. Bd. 2/1. 876 S.; 1988. Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Bd. 2/2. 596 S.; 1991a. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Bd. 2/3. 576 S. 1991b. Teil 4. Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Bd. 2/4. 438 S.

Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands // Neth. J. Aquat. Ecol. 1994. V. 1, № 28. P. 117–133.

О.А. Степанова

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА АЛЬГОВИРУСА *ISOCHRYSIS GALBANA* (2012-2013), КАК ОТРАЖЕНИЕ ЭКОЛОГИИ ЭТОЙ ВОДОРΟΣЛИ В ЭКОСИСТЕМЕ ЧЕРНОГО МОРЯ В БУХТАХ СЕВАСТОПОЛЯ

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, г. Севастополь, Россия, solar-ua@ya.ru

O.A. Stepanova

RESULTS OF *ISOCHRYSIS GALBANA* VIRUS SEARCH (2012-2013) AS A REFLECTION OF ECOLOGY THIS ALGA IN ECOSYSTEM OF BLACK SEA IN BAYS OF SEVASTOPOL

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Sevastopol, Russia, solar-ua@ya.ru

Поскольку альговирuсы обычно проявляют специфичность в отношении узкого круга своих хозяев, то их присутствие в водоемах может служить косвенным признаком наличия водорослей-хозяев, что используют для изучения их географического распространения (Wommack, Colwell, 2000). Поэтому результаты мониторинга альговирuсов, как индикаторов своих хозяев – микроводорослей, отражают некоторые особенности в экологии водорослей. Сведения об изоляции микроводоросли *Isochrysis galbana* Parke (*I. galbana*) из экосистемы Черного моря пока отсутствуют. Целью работы явилось выявления возможной циркуляции *I. galbana* в бухтах Севастополя и Крыма путем поиска и дальнейшего мониторинга альговирuса этой микроводоросли.

Поиск альговирuсов *I. galbana* проводили в 2012–2013 гг. в закрытых и открытых бухтах южного и юго-западного Крыма по авторской методике (Декл. пат. 2004) из проб морской воды и мантийной жидкости черноморских мидий *Mytilus galloprovincialis*. В качестве индикаторной культуры микроводорослей использовали жидкую коллекционную культуру *I. galbana*, полученную в отделе экологической физиологии водорослей Института биологии южных морей. Всего было изучено 66 проб: 10 проб из мидий и 56 проб морской воды, взятой с поверхностного горизонта (0-10см). Пробы воды отбирали ежемесячно из закрытых Карантинной и Мартыновой (ферма мидий) бухт Севастополя, а также зимой, весной и осенью из акваторий у Инкермана и Качивели (ферма мидий) и открытой бухты Ласпи (ферма мидий). Мидий отбирали с ферм, кроме фермы в акватории у Качивели, 2-3 раза в год. Акватория у Инкермана входит в состав закрытой Севастопольской бухты, у Качивели – выход в открытое море.

В 2012 г. был проведен поиск нового для науки альговирuса *I. galbana* (IgV) в 42 пробах (35 проб морской воды и 7 проб из мидий), а в 2013г – в 24 пробах (21 проба морской воды и 3 пробы из мидий). Всего из всех 66 проб было выделено 22 IgV (33.3%): из 10 проб мидий было выделено 7 IgV (70%), из 56 проб воды – 16 IgV (26.8%). Сведения о морфологии и некоторых свойствах выделенного IgV были впервые представлены в (Степанова и др., 2013).

Полученные результаты указывают, что материал из мидий является оптимальным для изоляции IgV, т.к. вирус был изолирован из 70% от всех изученных проб. Поскольку вирусы в фильтрующих моллюсках накапливаются даже при очень низкой их концентрации в воде и могут сохраняться и выживать в таких гидробио-

нтах длительное время (до нескольких месяцев), то результаты, полученные при изучении материала из мидий, могут свидетельствовать о географическом распространении IgV, но не о сезонности, отражающей и сезонность хозяина. Изоляция альгивирусов из проб морской воды свидетельствует как о присутствии хозяев-микроводорослей, так и о сезонности вирусов и их хозяев. Так IgV был выделен из проб мидий или воды, отобранных из всех изучаемых бухт южного и юго-западного Крыма (кроме Кацивели), что свидетельствует о широком и повсеместном распространении IgV и хозяина – микроводоросли *I. galbana* в экосистеме Черного моря в изучаемом районе.

Процент изоляции IgV из проб воды и мидий, отобранных на протяжении 2012–2013 гг из разных бухт и акваторий южного и юго-западного Крыма, отличался, составляя в среднем за 2 года 43.3% из Мартыновой бухты (30 проб/13 IgV), 40% из бухты Ласпи (5 проб/2 IgV), 25% из Карантинной бухты (20 проб/5 IgV) и 22.2% из акватории у Инкермана (9 проб/2 IgV). Эти данные свидетельствуют о преобладании IgV, а следовательно и их хозяина – микроводоросли *I. galbana*, в бухтах с биотехнологическими комплексами, так в Мартыновой закрытой бухте и в открытой бухте Ласпи расположены фермы по выращиванию мидий. Однако, если в закрытых Мартыновой и Карантинной бухтах процент изоляции IgV в пробах воды составляет в среднем за 2 года 37% и 25% соответственно, то в открытой бухте Ласпи альгивирус из проб воды изолирован не был, что можно сказать и о пробах воды из акватории у Кацивели. Анализ полученных результатов наводит на мысль, что такая избирательность (более частое выделение вируса из проб воды в закрытых бухтах с биотехнологическими комплексами) отражает особенности в экологии хозяина – микроводоросли *I. galbana*. Можно предположить, что для этой водоросли предпочтительней гидрологический и температурный режим закрытых бухт и наличие тех трофических особенностей и условий, которые возникают в бухтах с биотехнологическими комплексами.

Поиск IgV в пробах морской воды во всех изучаемых акваториях выявил, что процент изоляции вируса зимой составляет 33.3% (15 проб/9 IgV), весной – 35% (20 проб/7 IgV), летом – 15.4% (13 проб/2 IgV), осенью – 12.5% (8 проб/1 IgV). Полученные результаты свидетельствуют о весенней сезонности IgV и хозяина – микроводоросли *I. galbana*.

Таким образом, выделенный и частично изученный новый для науки альгивирус *I. galbana* является первым свидетельством распространения этой микроводоросли в Черном море. Установлена сезонность альгивируса в весенние месяцы, что свидетельствует и о весенней сезонности хозяина *I. galbana*. Впервые установлено, что альгивирус и, следовательно, хозяин (микроводоросль *I. galbana*) циркулирует в экосистеме Черного моря в закрытых и в открытых бухтах южного и юго-западного Крыма (на примере бухт Ласпи, Мартыновой, Карантинной, взморья у Кацивели и Инкермана). Альгивирус *I. galbana* чаще выделяется из закрытых бухт с биотехнологическими комплексами, что, вероятно, отражает особенности экологии хозяина – микроводоросли *I. galbana*, которая пока из экосистемы Черного моря изолирована не была.

Степанова О.А., Бойко А.Л., Щербатенко И.С. Характеристика и особенности черноморских альгивирусов – результаты 11 лет исследований (2002-2013) // Тез. докл. XIII Съезда Общества микробиологов Украины им. С.Н. Виноградского. Ялта, 2013. С. 478.

Деклараційний патент на винахід 65864А UA, МКУ 7 С12 N 1/12. - N2003065499 «Спосіб ізоляції альгівірусів одноклітинних водоростей, наприклад *Platymonas viridis* Rouch (Chlorophita)»: Степанова О.А. Заявлено 13.06.03; Опубл. 15.04.04, Бюл. N4 // Промислова власність. 2004. N4. С. 1–4.

Wommack K.E., Colwell R.R. Virioplankton: Viruses in aquatic ecosystems // Microbiol. Molec. Biol. Reviews. 2000. 64, N1. P. 69 –114.

О.С. Сутченкова, Е.Ю. Митрофанова
ПРЕДСТАВИТЕЛИ ПЕННАТНЫХ ДИАТОМОВЫХ В РАЗНОВОЗРАСТНЫХ СЛОЯХ ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ТЕЛЕЦКОЕ

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, olgaklassen@rambler.ru

O.S. Sutchenkova, E.Yu. Mitrofanova
REPRESENTATIVES OF THE PENNATE DIATOMS IN DIFFERENT-AGED LAYERS OF LAKE
TELETSKOYE BOTTOM SEDIMENTS

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, olgaklassen@rambler.ru

Диатомовый анализ озерных осадков основан на хорошей сохранности в них кремневых створок диатомовых водорослей. Это свойство озер используется в палеоэкологии для изучения природных тенденций развития озерных экосистем и климата территорий во времени и пространстве. Диатомеи образуют характерные экологические комплексы, приуроченные к различным биотопам водоемов и адаптированные к различным факторам среды (Дорофеев, 2008).

Озеро Телецкое (51°31'45" с.ш. и 87°42'53" в.д.) находится в горах Алтая на юге Западной Сибири. В нем на стыке широтной и меридиональной частей водоема расположен подводный хребет Софьи Лепневой, с вершиной на глубине 91 м (Селегей, Селегей, 1978). Обработку проб керна общей длиной 1940 мм, отобранного в 2006 г. с вершины хребта (Калугин и др., 2009), осуществляли стандартными методами (Водоросли, 1989; Диатомовые водоросли., 1974). Идентификацию диатомей проводили с использованием руководства К. Краммера и Х. Ланге-Берталота (Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b). Проанализированы верхние 0-125 и нижние 1815–1940 мм керна донных отложений. Скорость седиментации на вершине подводного хребта Софьи Лепневой одна из самых низких по сравнению с этой же величиной на других участках дна озера, и составляет 0.3 мм/год сухого вещества (Калугин и др., 2009), или 0.45 мм/год с учетом влажности осадка. При такой скорости седиментации верхние исследованные 125 мм керна донных отложений соответствуют временному интервалу 2006–1728 гг. н.э., нижние слои интервала 1815–1940 мм – 2049–2305 гг. до н.э.

Отличительной особенностью донных отложений Телецкого озера является преобладание во всех слоях по количеству створок планктонных холодолюбивых форм при незначительном их видовом разнообразии, в основном это *Aulacoseira subarctica* (O.Müll.) Haw., составляющая 16.4–91.0% общего числа створок. Дополнительную информацию об альгоценозах, развивающихся в тот или иной период времени, могут дать и сопутствующие виды. Поэтому нами были проанализированы состав и количество створок пеннатных диатомовых водорослей, которые преобладали по разнообразию, но имели незначительный вклад в число створок. По количеству выявленных таксонов пеннатных форм верхние и нижние исследованные слои керна имели незначительные отличия. В верхних слоях отмечено 77 видов (82 вида и разновидности), при этом 69 видов (74 вида и разновидности), или 89.6% – пеннатные формы. В нижних слоях выявлено 73 видами (76 видов и разновидностей), пеннатных – 68 видов (71 вид и разновидность), или 93.2%, т.е. при незначительном уменьшении видового разнообразия пеннатных форм в нижних слоях керна доля их в общем количестве видов увеличилась. В числе ведущих по числу таксонов в верхних слоях отмечено шесть родов: *Cymbella* Ag. (10 видов; 10 видов и разновидностей), *Gomphonema* Ehr. (9; 10), *Navicula* Bory (6; 7), *Fragilaria* Lyngb. (4; 6), *Diatoma* Bory (4; 4), *Nitzschia* Hass. (3; 3), в сумме составляющих 52.2% общего числа видов. В нижних слоях в число ведущих родов вошла и *Encyonema* Kütz., при этом позиции родов при ранжировании не изменились: *Cymbella* (9 видов; 9 видов и разновидностей), *Gomphonema* (8; 8), *Navicula* (4; 4), *Diatoma* (3; 3), *Nitzschia* (3; 3), *Encyonema* (3; 3), в сумме – 48.5% от общего числа видов.

Количество створок пеннатных форм в верхних исследованных слоях изменялось в пределах 2.2–10.1 млн ств./г, доля их в общем количестве – от 24.4 до 69.2%.

В нижних слоях донных отложений пеннатные диатомовые были выявлены в количестве от 0.7 до 3.6 млн ств./г, доля их варьировала в пределах 3.3–21.3%. Такое уменьшение доли пеннатных форм в нижних слоях керна может свидетельствовать, вероятно, о снижении роли альгоценозов литорали и увеличении значимости истинно планктонного комплекса в период 2049–2305 гг. до н.э. по сравнению с современным этапом развития озера.

В верхних слоях донных отложений виды *Staurosirella pinnata* (Ehr.) Williams et Round, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compere var. *ulna*, *Cymbella sinuata* Greg., *Encyonema ventricosum* (Kütz.) Grun., *Tryblionella angustata* (W. Sm.) Grun. встречаются во всех пробах исследованного интервала (встречаемость $R = 100$). Среди часто встречающихся отмечены виды *Cocconeis placentula* Ehr. var. *placentula* (96), *Cymbella cistula* (Ehr.) Kirchn. (92), *C. helvetica* Kütz. (88), *Gomphonema olivaceum* var. *olivaceum* (Horn.) Breb. (88), *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm. (88), *N. fonticola* Grun. (84), *Fragilaria capucina* var. *rumpens* (Kütz.) Lang.-Bert. (84), *F. vaucheriae* (Kütz.) Peters. (80), *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr. (80). В нижних слоях керна донных отложений виды с абсолютной встречаемостью не отмечены. К видам с высокой встречаемостью относятся *Encyonema ventricosum* ($R = 92$), *Staurosirella pinnata* (88), *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehr.) Grun. (84), *Tryblionella angustata* (84), *Diatoma mesodon* (Ehr.) Kütz. и *C. placentula* var. *placentula* (по 80). Некоторые виды найдены только в определенных слоях донных отложений. Так, только к поверхностным слоям приурочены виды *Hannaea inaequidentata* (Lagerg.) Genkal et Kharitonov, *Stauroneis prominula* (Grun.) Hust., *Frustulia rhomboides* (Ehr.) D.T., *Cymbella aspera* (Ehr.) Peragallo. Для нижних слоев отмечены *Synedra goulardii* var. *telezkoensis* Poretzky, *Placoneis exigua* (Grun.) Cox, *Cymbopleura angustata* (W. Sm.) Krammer, *Cymbella skvortzowii* Skabitsch.

В целом, при сравнении состава диатомовых водорослей в верхних и нижних интервалах изученного керна с помощью мер включения (Андреев, 1980) установлено, что состав диатомей из нижележащих слоев на 70% включен в состав диатомовой флоры поверхностного отрезка. А диатомеи из верхних слоев включены в состав нижних на 64%, т.е. состав современных диатомовых комплексов озера имеет большие черты сходства с теми, что обитали 2-4 тыс. лет назад.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 92 и партнерского проекта фундаментальных исследований СО РАН № 34.

Андреев В.Л. Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с.
Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 1., Л.: Наука, 1974. 403 с.

Дорофеюк Н.И. Реконструкция природных условий Внутренней Азии в позднеледниковье и голоцене (по материалам диатомового и палинологического анализозерных осадков Монголии). Автореф. дис... докт. биол. наук. Москва, 2008. 49 с.

Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В. 3000-летняя реконструкция среднегодовых температур Алтайского региона по литолого-геохимическим индикаторам донных осадков оз. Телецкое // Докл. Акад. Наук. 2009. Том 426, № 4. С. 520–522.

Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 142 с.

Krammer K, Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2, Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae. Stuttgart: G. Fischer Verl., Jena. 1986. 876 p.

Krammer K, Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2, Bacillariophyceae. Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Stuttgart: G. Fischer; Jena, 1988. 596 p.

Krammer K, Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2. Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Stuttgart: G. Fischer; Jena, 1991 a. 576 p.

Krammer K, Lange-Bertalot H Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2. Bacillariophyceae. Teil 4. Achnantheaceae. Stuttgart: G. Fischer; Jena, 1991 b. 437 p.

Н.В. Суханова, А.И. Фазлутдинова
ГОРОДСКИЕ ПАРКИ – ФОРПОСТ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАЗЕМНЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И
ЦИАНОБАКТЕРИЙ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия,
n_suhanova@mail.ru

N.V. Suhanova, A.I. Fazludinova
CITY PARKS AS OUTPOST OF SOIL ALGAE AND CYANOBACTERIA BIODIVERSITY
IN ANTHROPOGENICALLY DISTURBED TERRITORIES

M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia, n_suhanova@mail.ru

Парки культуры и отдыха, лесопарки и скверы являются важнейшим компонентом структуры ландшафта города, формируют экологическую среду, существенно влияют на гигиенические условия города, представляют собой место ежедневного и периодического отдыха горожан. Парки, представляющие собой специфический тип городских пространств с крупными массивами растительности, входят в городскую экосистему и благодаря мозаичности экотопов они становятся территориальным ресурсом для поддержания разнообразия растений. Флора почвенных водорослей и цианобактерий изучалась нами в 6 лесопарках, 8 скверах, 19 парках на территории 15 городов и других населенных пунктов Уральского региона в период с 1993 по 2013 гг. В пределах парков и лесопарков альгофлора исследовалась на участках с древесной растительностью, полянах и тропинках.

Материалом для работы послужили 279 смешанных почвенных проб, отобранных классическими альгологическими методами (Голлербах, Штина, 1969). При выявлении видового состава водорослей и цианобактерий использовали разные варианты культурального метода: 1) метод стекол обрастания, 2) посев почвы на агаризованную среду Болда, 3) жидкие культуры. Для оценки обилия видов использовали пятнадцатибальную шкалу, разработанную для стекол обрастания (Кабиров, Суханова, 1997). Для определения видовой принадлежности водорослей использовали серию отечественных, а также зарубежные определители пресноводных водорослей (Ettl, 1983; Ettl, Gärtner, 1988 и др.). Названия таксонов и систематическая структура даны в соответствии с *algaebase* (<http://www.algaebase.org>). Для каждого вида рассчитывали постоянство (встречаемость) по формуле: $C (\%) = n/N \times 100$, где n – число проб, в которых вид обнаружен, N – общее число проб. Семейства с разнообразием видов выше среднего относили к ведущим.

Всего обнаружено 334 вида и внутривидовых таксона водорослей и цианобактерий, из них 81 вид цианобактерий (24% от всех обнаруженных видов и внутривидовых таксонов), 160 (48%) зеленых и 6 (2%) стрептофитовых, 40 (12%) желто-зеленых, 7 (2%) эустигматовых, 40 (12%) диатомовых. Биоразнообразие эдафофототрофов представлено 6 отделами, 10 классами, 32 порядками, 66 семействами, 129 родами.

В почве парков и лесопарков чаще всего встречались и имели высокие баллы обилия на стеклах обрастания следующие виды: *Microcoleus vaginatus* (Vaucher) Gomont ex Gomont (встречаемость 49%), *Leptolyngbya foveolarum* (Rabenhorst ex Gomont) Anagnostidis et Komárek (44%), *Chlamydomonas gloeogama* Korshikov (44%), *Bracteacoccus minor* (Chodat) Petrová (76%), *Dictyococcus varians* Gerneck (49%), *Klebsormidium flaccidum* (Kützing) P.C.Silva, K.R.Mattox & W.H.Blackwell (44%), *Botrydiopsis eriensis* Snow (59%), *Xanthonema exile* (G.A.Klebs) P.C.Silva (47%), *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd (49%), *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow (71%), *Luticola mutica* (Kützing) D.G.Mann in Round et al. (46%), *Fistulifera pelliculosa* (Brébisson) Ланге-Bertalot (55%). 116 видов имели встречаемость менее 1%, т.е. были встречены в одной почвенной пробе, это почти 35% от общего числа обнаруженных на территории городских парков видов, их можно отнести к числу редких в городских парках. Среднее значение числа видов в пробах составляло 26.

Для парков лесной зоны выявлено 123 вида и разновидности водорослей и цианобактерий, из них 23 вида (19%) Cyanobacteria, 64 (52%) Chlorophyta, 2 (2%) Streptophyta, 17 (15%) Xanthophyta, 2 (2%) Eustigmatophyta, 15 (12%) Bacillariophyta.

Разнообразие почвенных фототрофов парков лесной зоны представлено 6 отделами, 8 классами, 19 порядками, 40 семействами, 66 родами. Ведущими таксонами (по числу видов) являлись Chlorophyta, Chlorophyceae, Chlamydomonadales, Chlamydomonadaceae, *Chlamydomonas*. В десятку ведущих по количеству видов семейств вошли зеленые водоросли (6 семейств), цианобактерии и диатомовые водоросли (по 2 семейства). Во флоре почвенных водорослей и цианобактерий лесной зоны независимо от расположения городов относительно Уральских гор по числу видов преобладали зеленые водоросли.

247 видов, включая формы и вариации микроскопических водорослей и цианобактерий, выявлено в почве парков и лесопарков лесостепной зоны. Наибольшее число видов принадлежало зеленым водорослям 113 видов (46% от общего числа). Почти вдвое меньше было цианей, их насчитывалось 62 вида (25%), еще меньше – диатомовых 35 видов (14%) и желто-зеленых 29 видов (12%), незначительное участие в сложении биоразнообразия микроскопических фототрофов играли представители отделов стрептофитовые и эустигматовые (по 4 вида и 1,5% от общего числа видов). Из соотношения числа видов в отделе к общему их числу в альгогруппировке, видно, что в парках и лесопарках лесостепной зоны заметно возросла доля цианобактерий, а желто-зеленых водорослей, наоборот, уменьшилась, по сравнению с альгосинузиями парков лесной зоны. Разнообразие почвенных фототрофов парков лесостепной зоны представлено 6 отделами, 10 классами, 28 порядками, 55 семействами, 105 родами. Ведущими по числу видов таксоны были те же, что и в лесной зоне. В двенадцать ведущих по количеству видов семейств вошли зеленые водоросли (5 семейств), цианобактерии и диатомовые водоросли (по 3 семейства) и желто-зеленые (1 семейство).

191 вид почвенных водорослей и цианобактерий выявлено в парках и скверах степной зоны района исследования. Почвенные водоросли и цианобактерии парков и скверов степной зоны представлены 6 отделами, 9 классами, 24 порядками, 49 семействами, 83 родами. Большую часть видов составляли зеленые водоросли 90 видов (47% от общего числа). Цианобактерий выявлено 46 видов (24%), желто-зеленых – 25 видов (13%), диатомовых – 20 видов (11%), небольшим числом видов в структуре альгосообществ парков степной зоны представлены стрептофитовые и эустигматовые (4 вида и 2%, 6 видов и 3% от общего числа видов, соответственно). Из соотношения числа видов в отделе к общему их числу в цианобактериально-водорослевых ценозах (ЦВЦ), видно, что в парках и скверах степной зоны также как в лесостепной зоне высока роль цианобактерий, но уменьшилась доля диатомовых водорослей, что, скорее всего, связано с климатическими условиями степной зоны. Большинство диатомовых влаголюбивы, не переносят длительных высыханий почвы. Ведущими таксонами по числу видов являлись Chlorophyta, Chlorophyceae, Oscillatoriales, Phormidiaceae, *Phormidium*. В почвенных пробах, отобранных в парках и скверах степной зоны, по видовому разнообразию ведущим семейством оказалось семейство нитчатых безгетероцистных цианобактерий Phormidiaceae, что не характерно для парков других природных зон Уральского региона. Кроме того, в число ведущих вошли семейства Chlamydomonadaceae, Chlorococcaceae, Pleurochloridaceae, Leptolyngbyoideae, Prasiolaceae и др.

Таким образом, флора эдафотрофов парков Уральского региона характеризуется высоким видовым разнообразием с явным преобладанием зеленых водорослей независимо от природно-климатической зоны района исследования.

В.С. Цветкова
АФЕЛИДЫ – ПАРАЗИТОИДЫ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия,
cvetkoviktoriya@yandex.ru

V.S. Tsvetkova
APHELIDS ARE THE PARASITOIDS OF ALGAE

Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, cvetkoviktoriya@yandex.ru

Афелиды – группа внутриклеточных фаготрофных паразитоидов водорослей (Chlorophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta), в настоящее время относимых к типу Aphelida. Вызывают снижение продуктивности и массовую гибель водорослей, особенно в массовых культурах. В состав группы входят 2 пресноводных рода – *Aphelidium* и *Amoeboaphelidium*, и 1 морской – *Pseudaphelidium*. Их ДНК была также обнаружена в различных почвах и в фекальных пеллетах гамаруса. Афелиды обладают сходными жизненными циклами. Зооспоры *Aphelidium* утрачивают жгутик после прикрепления к клетке водоросли и превращаются в цисту. Содержимое цисты проникает внутрь клетки водоросли с помощью инфекционной трубки, после чего паразитоид начинает фагоцитировать содержимое клетки хозяина. Вегетативная стадия представлена амебоидным многоядерным плазмодием, окруженным оболочкой клетки водоросли. Характерной особенностью является наличие красновато-коричневого экскретного тела, образующегося в центральной пищеварительной вакуоли. Зрелый плазмодий делится на одноядерные зооспоры, которые выходят в окружающую среду через отверстие в клеточной стенке, сделанное материнским паразитоидом (Громов, Мамкаева, 1975). Последние исследования *Amoeboaphelidium protococcarum* показали, что у амебоидных зооспор есть неподвижная псевдоцилия (Karpov et al., 2013, 2014). У зооспор *Pseudaphelidium* отсутствует липидная глобула. После высвобождения из клетки водоросли зооспоры инцистируются. При эксцистировании из каждой цисты выходят 2 или 4 зооспоры, в дальнейшем заражающие новых хозяев. У всех афелид описана возможность образования множественного заражения клетки хозяина. При этом амебы сначала развиваются отдельно, а затем сливаются в единый многоядерный спорангий (Мамкаева, 1967).

Изучение ультраструктуры показало изменчивость формы крист митохондрий на разных стадиях жизненного цикла. Ультраструктура зооспор со жгутиком описана только для рода *Aphelidium* (Громов, Мамкаева, 1975). На переднем конце расположена филоподия для прикрепления к клетке водоросли. Диктиосома находится между ядром и кинетосомой направленной назад жгутика. Вокруг ядра располагаются липидные капли; рибосомы равномерно распределены по цитоплазме, что отличает афелид от большинства хитридиевых грибов, у которых рибосомы агрегированы. Амебоидные зооспоры лучше изучены у *Amoeboaphelidium*, формирующего плавающих и ползающих по субстрату амеб. Плавающие амебы округлой формы с радиально направленными филоподиями. Перемещающиеся по субстрату амебы подразделяются на две равные части: заднюю с ядром и остальными органеллами, и переднюю – широкую ламеллиподию, формирующую субфилоподии. Задняя часть несет псевдоцилию, содержащую по крайней мере 2-3 микротрубочки (Karpov et al., 2013). После проникновения инфекционной трубки в клетку водоросли расположенная сзади вакуоль увеличивается в размерах и выталкивает содержимое цисты внутрь клетки хозяина. У *Pseudaphelidium*, в отличие от других афелид, оболочка цисты утолщена и есть специальная трубка с прикрепительным диском. При закреплении диска на поверхности водоросли трубка выворачивается, как у микроспоридий, формируя канал для проникновения паразитоида в клетку хозяина.

У зооспор афелид, в отличие от хитридиомицетов, отсутствует тенденция к упаковке органелл. Также для них характерно поглощение пищи путем фагоцитоза, в то время как грибам свойственен осмотрофный способ питания. На основании анализа нуклеотидных последовательностей 18S, 28S, 5.8S рНК, а также рНК-

полимеразы II (RPB1 и RPB2) афелид первоначально помещали в сестринскую группу ARM-группы (*Amoeboaphelidium* + *Rozella* + Microsporidia) (Karpov et al., 2013), а в настоящее время они входят в состав надтипа Opisthosporidia (Karpov et al., 2014). Этот надтип объединяет три типа: Aphelida, Cryptomycota (*Rozella*, *Paramicrosporidium* - Corsaro et al., 2014) и Microsporidia. Все они – паразиты или паразитоиды с амебоидной вегетативной стадией, формируют цисты с хитиновой оболочкой и специализированным аппаратом проникновения в хозяина, зооспоры (при наличии) с псевдоподиями и/или направленным назад редуцированным жгутиком.

Систематика афелид:

Надтип Opisthosporidia Karpov, Aleoshin et Mikhailov, 2014

Тип Aphelida Karpov, Aleoshin et Mikhailov, 2014

Класс Aphelidea Gromov 2000

Отряд Aphelidida Gromov, 2000

Семейство Aphelididae Gromov, 2000

Aphelidium Zopf, 1885

Amoeboaphelidium Scherfel, 1925

Pseudaphelidium Schweikert et Schnepf, 1996

Работа поддержана РФФИ, грант № 12-04-01486а.

Громов Б.В. Паразиты водорослей из группы «монад» Ценковского родов *Aphelidium*, *Amoeboaphelidium* и *Pseudaphelidium* как представители нового класса // Зоологический журн. 2000. Т. 79. №5. С. 517–525.

Громов Б.В., Мамкаева К.А. Ультраструктура зооспор *Aphelidium chlorococcarum* Fott. // Микология и фитопатология. 1975. Т. 9. С. 190–195.

Мамкаева К.А. Изучение микроорганизмов. Вызывающих гибель протококковых водорослей в культурах // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1967. 69 с.

Corsaro D., Walochnik J., Venditti D., et al. Microsporidia-like parasites of amoebae belong to the early fungal lineage Rozellomycota // Parasitol. Res. 2014.

Karpov S.A., Mamkaeva M.A., Aleoshin V.V., et al. Morphology, phylogeny, and ecology of the apheilds (Aphelidea, Opsithokonta) and proposal for the new superphylum Opisthosporidia // Front. Microbiol. 2014. V. 5. P. 112.

Karpov S.A., Mikhailov K.V., Mirzaeva G. S, et al. Obligately Phagotrophic Aphelids Turned out to Branch with the Earliest-diverging Fungi // Protist. 2013. V. 164, P. 195–120.

М.Ю. Шарипова, И.Е. Дубовик

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАЗНОМАСШТАБНОГО ШКАЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЛЬГОФЛОРЫ**

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия, sharipovamy@mail.ru

M.Yu. Sharipova, I. E. Dubovik

**APPLICATION OF SCALING METHOD FOR THE ASSESSMENT OF SPATIAL DISTRIBUTION
OF ALGAFLORA**

Bashkir State University, Ufa, Russia, sharipovamy@mail.ru

Шкалирование является одной из основных черт современной науки о растительности (Миркин, Наумова, 1998). Поскольку растительности присуща иерархия континуумов, разные исследователи выделяют разное число масштабов (до 5-7). В.В. Мазинг (Masing, 1994) выделяет следующие масштабы организации растительности: ценотический, ландшафтный, региональный, планетарный. Г.Г. Кузяхметовым (2000) выделены: мегамасштаб – альгофлора природных зон и регионов; макромасштаб – альгофлора территорий масштаба геоботанических районов; мезомасштаб – состав альгоценозов в пространстве, маркируемом фитоценозами; микромасштаб – в пределах растительного контура (сообщества) от микроочага в почвенных порах до пробной площади. Первые два масштаба определяют гамма разнообразие, т.е. пул разнообразия видов, являющийся потенциалом для формирования бета-разнообразия альгоценозов и альфа-разнообразия видового состава сообществ во-

дорослей в нижеследующих масштабах. С.Ф. Комулайнен (2005) пространственную неоднородность фитоперифитона рассматривает на зональном, региональном, биотопическом, микромасштабном (внутрибиотопическом) уровнях. Мы придерживаемся системы масштабирования в понимании Б.А. Юрцева (1982, 2004), который считает, что внутриландшафтное разнообразие местообитаний можно рассматривать в плане иерархии экотопов: микро-, мезо- макро-, (ландшафт в целом – как мегаэкотоп) – с их парциальными флорами.

При сопоставлении обобщенных материалов альгологических исследований выявлено, что распределение почвенных водорослей подчинено широтно-зональному градиенту, и максимальное видовое богатство отмечено для экотонных зон. Так, если в фитоценозах почв лесной зоны насчитывается 420 видов водорослей, степной – 366 (Кузяхметов, 2000), то в лесостепной – 543 вида. В почвах лесостепной зоны выше таксономическое разнообразие, т.к. разнообразнее местообитания, включающие широколиственные леса, остепненные луга и луговые степи, а также пахотные угодья. Таким образом, в составе альгофлоры почв лесостепи содержатся виды, характерные как для лесной, так и степной зоны и даже для полупустыни. Похожие данные приводятся для Украины (Царенко, 2005), где наибольшее количество видов выявлено в лесостепной зоне. Для альгофлоры лесостепи показаны высокие показатели видовой насыщенности семейств и родов (7.7 и 4.7) по сравнению с флорами лесных, степных и горных экосистем. В лесостепной зоне отмечены и самые высокие показатели среднего числа видов в образцах (56-72 вида на пробную площадку) (Кузяхметов, 2002). Максимум видов – 592 отмечается в болотных фитоценозах (Пивоварова, 1991). Особенно наглядно проявляется экотонный эффект в горных массивах, где сообщества почвенных водорослей особенно разнообразны в связи с многовариантностью почв, растительности и микроклиматических условий (Водоросли..., 1989).

При исследовании водорослей водных экосистем также выявляется пространственная неоднородность. «Зональный» уровень обнаруживается при сравнении фитоперифитона рек, находящихся в различных географических (климатических) зонах (Комулайнен, 1999). В реках Европейского Севера России показано постепенное повышение к югу видового богатства перифитона и при общем доминировании диатомовых водорослей увеличение разнообразия синезеленых по сравнению с зелеными водорослями. В исследованных нами реках Южного Урала синезеленые водоросли составляют в среднем 12%, в озерах – 19%. В водоемах Большеземельской тундры их доля равна 13% (Гецен, 1985), Якутии - 15% (Васильева, 1989), озерах Средней Лены – 15% (Копырина, 2001), перифитоне рек Восточной Финноскандии – 19% (Комулайнен, 2005). В альгофлоре перифитона рек Карелии отношение *Cyanophyta/Chlorophyta* – 0.75, (Комулайнен, 2004). По данным наших исследований в реках Урала и Предуралья от 0.34 до 1.2. И хотя тенденция к увеличению доли *Cyanophyta* прослеживается, однако, в реках значение *Cyanophyta/Chlorophyta* сильно варьируется, что связано с различной минерализацией рек изученного региона. В горных реках с низкой минерализацией индекс составляет 0.27–0.46, и эти значения согласуются с таковыми, установленными для рек Среднего Урала. В равнинных реках с высокой минерализацией доминирование синезеленых по сравнению с зелеными очевидно.

Для северных флор отмечено увеличение семейств и родов с одним таксоном, что объясняется снижением минерализации, для перифитона рек Карелии: 35,9% семейств и 42,4% родов (Комулайнен, 2004). В наших исследованиях водоемов и водотоков Южного Урала процент одновидовых семейств в альгофлоре составляет 34% от общего числа (в их числе зеленых водорослей – 8 семейств, синезеленых – 6, диатомовых – 2, желтозеленых – 2 и золотистых – 1 семейство), одновидовых родов – 50% (в основном, за счет зеленых водорослей). Такое же значение установле-

но для альгофлоры водоемов юга Западной Сибири – 33,8% (Сафонова, Ермолаев, 1983; Ермолаев, 1998). Показательным является изменение спектра ведущих семейств. В перифитоне рек Карелии самое высокое положение занимают семейства, видовое разнообразие которых отражает голарктические черты флор северного полушария: Naviculaceae и Desmidiaceae. Характерным, как и для других водоемов Европейского Севера, является высокое положение семейств Fragilariaceae и Eunotiaceae (Гецен, 1985). Роды *Eunotia*, *Achnanthes*, *Navicula*, *Cymbella*, *Cosmarium*, *Gomphonema* являются ведущими по видовому богатству в реках Карелии (Комулайн, 2004; 2005). Роды *Eunotia*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Cosmarium* доминируют в реке Вуокса северо-запада России (Трифорова и др., 2004). В реках Среднего Урала и Предуралья по нашим данным на первые места выходят водоросли родов *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Cosmarium*, *Fragilaria*, *Pinnularia*, а также *Oscillatoria*, *Scenedesmus* (река Исеть) (Бутова, Станиславская, 2004). Семейство Eunotiaceae и род *Eunotia* малочисленны и не входят в 10 ведущих семейств и родов, зато усиливает свою представленность семейство Euglenaceae и род *Euglena*. Увеличение доли синезеленых водорослей в отношении Cyanophyta/Chlorophyta прослеживается в широтном аспекте с севера на юг и в эпифитоне озер. В 10 ведущих семействах доминировали Naviculaceae, Oscillatoriaceae, Desmidiaceae, Nitzschiaceae, Fragilariaceae. Выделяется более высокое положение семейства Oscillatoriaceae по сравнению с флорой экосистем Крайнего Севера. Эта особенность в эпифитоне озер проявляется более отчетливо по сравнению с эпифитоном рек.

М.И. Ярушина

**СОСТАВ И СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА ВОДОЕМОВ БАСЕЙНА
РЕКИ ЯРАЯХА (П-ОВ ЯМАЛ)**

Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, nvl@ipae.uran.ru

M.I. Yarushina

**COMPOSITION AND STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON IN WATER BODIES OF THE YARAYANA
RIVER BASIN (YAMAL PENINSULA)**

Institute of Ecology of Plants and Animals Ural Branch RAS, Yekaterinburg, Russia, nvl@ipae.uran.ru

Ямальская тундра до недавнего времени оставалась одной из малоизученных в альгологическом отношении территорий Западно-Сибирского сектора Арктики. Первые сведения о водорослях в водных экосистемах региона опубликованы почти 100 лет назад (Воронков, 1911). Изучение альгоценозов разнотипных водоемов арктических тундр началось в конце прошлого столетия сотрудниками ИЭРиЖ УрО РАН (Ярушина, 1990, 1991, 1995), ИПОС СО РАН (Валеева, 1995), ЦСБС СО РАН (Науменко, Семенова, 1996). В этих работах приведены первые сводные флористические списки водорослей для водоемов типичных субарктических тундр (Ярушина, 1991; Валеева, 1995), позднее для водоемов южных субарктических тундр Ямала (Науменко, Семенова, 1996). Интенсивность альгологических исследований значительно возросла лишь в последние десятилетия (Лукницкая, 2001, 2006; Ярушина, 2011, 2012, 2013; Генкал, Ярушина, 2014 а, б), что обусловлено возрастающей хозяйственной деятельностью на Ямале (Богданов и др., 2013). В настоящее время автором ведутся инвентаризационные исследования флоры водорослей планктона водных экосистем п-ова Ямал. Так на начальном этапе исследований (1989–1995 гг.) по литературным и оригинальным данным обобщены многолетние исследования видового разнообразия планктонных водорослей, в водоемах тундровых ландшафтов Ямала, включая водоемы бассейнов рек Мордыяха, Сеяха, Юрибей, Хэяха, расположенных в субарктической тундре Ямала. Сюда же включены результаты детального изучения десмидиевых водорослей малых и эфемерных водоемов, материалы которых собраны в бассейне оз. Ярато в 1995 г., район южных тундр Ямала (Лукницкая 2001, 2006). Всего в сводной альгофлоре Ямала за этот период нами

было зарегистрировано 535 видов (591 вид, разновидность и форма) из 165 родов, 56 семейств, 27 порядков.

На втором этапе автором обобщены оригинальные данные по изучению фитопланктона 22 разнотипных водных объектов арктической тундры Ямала (Ярушина, 2011, 2013). Изучение локальных флор этого региона проводилось автором с 2008 по 2012 гг. Впервые в исследованных водоемах арктической тундры нами с использованием только световой микроскопии выявлено 358 видов, представленных 390 видовыми и внутривидовыми таксонами, которые относятся к 140 родам, 53 семействам, 22 порядкам. Среди обнаруженных в планктоне водных экосистем арктических тундр 177 видов с учетом внутривидовых таксонов являются новыми для флоры Ямала. Изучение диатомовых водорослей арктической тундры с использованием электронной микроскопии существенно пополнило альгофлору не только арктической тундры и Ямала в целом, но и позволило выявить редкие и новые виды для России (Генкал, Ярушина, 2014 а, б). В результате этих исследований к настоящему времени в водных экосистемах Ямала альгофлора насчитывает 779 видов (853 видов с учетом разновидностей и форм), относящихся к 195 родам, 62 семействам, 28 порядкам. Значительное число новых для региональной флоры видов и родов водорослей, найденных в планктоне водоемов арктической тундры, свидетельствует об оригинальности полученного материала. В связи с этим одной из важнейших задач последующих исследований является продолжение углубленного изучения качественного состава и сезонной динамики водорослевых сообществ с целью использования данных об их естественной изменчивости в мониторинге водных экосистем континентальных и приморских районов тундр Ямала.

Настоящая работа является продолжением наших инвентаризационных исследований, цель которой – обобщить результаты многолетних исследований разнообразия и распространения водорослей планктона в разнотипных водоемах бассейна р. Яраяхи, несущей свои воды в Байдарацкую губу. В основу работы положены оригинальные материалы, собранные нами в летние месяцы 2005–2011 гг. в 14 водных объектах различного типа (4 реки, 5 безымянных термокарстовых озер, 3 ручья, два мелководных русловых сора), расположенных в междуречье рек Яраяха и Сабрявпензя в южных тундрах Ямала. Описание района исследований и характеристика водных экосистем приведена нами ранее (Ярушина, 2012). Согласно нашим данным, альгофлора водотоков и водоемов представлена 364 видами (с разновидностями и формами 429 таксонами, относящихся к 124 родам, 59 семействам, 24 порядкам. Наибольшим таксономическим богатством отличаются семейства *Naviculaceae* (86), *Desmidiaceae* (51), *Dinobryaceae* (27), *Bacillariaceae* (20), *Fragilariaceae* (19), *Cymbellaceae*, *Euglenaceae* (по 16), *Scenedesmaceae* (15), *Closteriaceae* (13), *Achnanthes* (12), *Eunotiaceae* (10 таксонов), среди родов – *Navicula* (43), *Nitzschia* (19), *Cosmarium* (17), *Fragilaria* (16), *Pinnularia* (14), *Closterium* (13), *Achnanthes* (12), *Staurodesmus* (11), *Eunotia*, *Gyrosigma* (по 10 таксонов).

Распределение видового состава водорослей планктона по разнотипным водным объектам оказалось неравномерным. Наибольшим флористическим богатством отличались альгофлоры водотоков. Так альгофлора рек включает 238 видовых и внутривидовых таксонов, свыше 56% которой сформирована диатомовыми и только 19% зелеными водорослями. Меньшей представленностью характеризовались остальные отделы. Несмотря на то, что видовое обилие альгофлор отдельно взятых рек невысокое (76–159 видовых и внутривидовых таксонов), коэффициент флористического сходства Серенсена-Чекановского сохранялся низким (0.35–0.41). Сравнительно близко речному видовое богатство фитопланктона ручьев, которое включает 219 видовых и внутривидовых таксонов. Но при этом прослеживается снижение вклада диатомей (50%) в формировании структуры фитопланктона на фоне заметного возрастания роли зеленых водорослей (27%), а также существенное снижение

коэффициента флористического сходства для альгофлор отдельно взятых ручьев (0.15–0.37). Низкое флористическое сходство планктонных водорослей водотоков указывает на существование значительных отличий в состоянии водной среды. Следует отметить, что в формировании таксономической и ценотической структуры фитопланктона практически всех водотоков ведущая роль (50–56%) принадлежит диатомовым водорослям.

В составе фитопланктона исследованных озер было выявлено 189 таксонов рангом ниже рода, принадлежащих к шести отделам. В отличие от водотоков в альгофлоре озер наиболее разнообразно был представлен отдел Chlorophyta – 78 видовых и внутривидовых таксонов (или 41.3%). Видовое разнообразие диатомовых значительно ниже, всего 33.3%. Сходство видового состава озер очень низкое, коэффициент Серенсена-Чекановского изменялся от 0.04 до 0.36. Известно, что для тундровых озер характерны пространственная неоднородность обилия и разнообразия диатомей, существенное участие случайных видов (Стенина, 2009). Разная степень развития фитопланктона в тундровых озерах обусловлена комплексом внутренних лимнологических факторов и внешних воздействий.

Работа выполнена при частичной поддержке программ фундаментальных исследований УрО РАН: проекты 12-М-45-2062–Биологическое разнообразие Европейского сектора Арктики и Ямала и 12-4-3012–Арктика.

Секция 3. Структура и функционирование альгоценозов. Section 3. Structure and functioning of algocenoses.

К.М. Абдуллаева¹, А.В. Гончаров²

ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА И СВЯЗАННЫХ С НИМ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ПО ДЛИНЕ ОЗЕРНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

¹Международный университет природы, общества и человека «Дубна», г. Дубна, Россия, kseniyaa_90@mail.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

К.М. Abdullaeva¹, A.V. Goncharov²

CHANGE OF PHYTOPLANKTON AND RELATED WATER CHARACTERISTICS ALONG THE LENGTH OF OZERNINSKOE RESERVOIR

¹Dubna Intern. University for Nature, Society and Man, Dubna, Russia, kseniyaa_90@mail.ru

²Moscow state University, Moscow, Russia

Озернинское водохранилище – один из источников водоснабжения г. Москвы, поэтому исследование фитопланктона, являющегося основным участником процесса эвтрофирования, актуально. Кроме фитопланктона, в работе рассматриваются связанные с ним характеристики вод, которые либо влияют на развитие водорослей, либо наоборот сами изменяются под влиянием фитопланктона: температуру воды, мутность, содержание в воде органических и биогенных веществ, количество бактерий и некоторые другие. Поскольку Озернинское водохранилище – водоем долинного типа (длиной около 19 км и шириной до 2 км), можно ожидать, что от верховья к плотине будет происходить существенное изменение водной экосистемы. В работе использованы многолетние материалы лаборатории ОАО «Мосводоканал» за 1984–2000 гг. Пробы отбирали ежемесячно в верхней части водохранилища у с. Михайловское, в средней части у с. Волково и в нижней части у плотины гидроузла.

Анализ данных показал, что от верховья к плотине последовательно уменьшается биомасса фитопланктона, составляя в среднем за вегетационные сезоны 1984–2000 гг. 9.7 мг/л в Михайловском, 8.0 мг/л в Волково и 6.3 мг/л в приплотинном районе. Сходным образом изменяется количество сапрофитных бактерий: 181, 125, 120 кл./мл. Высокое содержание водорослей и бактерий в верховьях водохранилища может быть обусловлено постоянным притоком питательных минеральных и органических веществ с водами р. Озерны. Другая причина может заключаться в том, что мелководные верховья легче прогреваются и перемешиваются, чем глубоководные воды приплотинного района. Для сезонных изменений фитопланктона в приплотинном районе прослеживаются характерные для многих водоемов средних широт весенний и позднелетний пики (3.5 и 10.2 мг/л соответственно); в начале лета имеется минимум, вызванный активной фильтрационной деятельностью дафний и уменьшением количества биогенных элементов. Сходным образом, но на более высоком количественном уровне развивается фитопланктон в верховье водохранилища.

Сезонные изменения сапрофитных бактерий, основу питания которых составляют легкоокисляемые органические вещества, похожи на изменения фитопланктона. Наблюдаются весенний и позднелетний максимумы бактерий (составляющие в среднем районе водохранилища ~145 кл./мл) и минимум в начале лета (~100 кл./мл). То есть увеличение количества бактерий приурочено к массовому развитию фитопланктона весной и поздним летом.

Можно предположить, что распределение фитопланктона и бактерий по длине Озернинского водохранилища связано с гидрологическими и гидрохимическими условиями. Анализ средних за вегетационные сезоны значений показал снижение мутности воды от верховьев к плотине: 8.8, 6.6, 5.3 мг/л. Это может быть связано не только с поступлением взвешенных веществ с водами р. Озерна, но и с неравномерным развитием фитопланктона по длине водохранилища. Аналогичные изменения наблюдаются для перманганатной окисляемости (9.7, 8.8, 8.2 мгО/л) и БПК₅ (3.9,

3.3, 3.0 мгО/л). Такой характер распределения органического вещества может быть также обусловлен неравномерным развитием фитопланктона в разных районах водохранилища.

От верховьев к плотине снижается степень насыщения воды кислородом, составляя 97.1, 94.9, 89.6 % и рН (8.44, 8.35, 8.30), что также может быть следствием разницы в развитии фитопланктона в разных районах. Помимо этого наблюдается снижение концентрации фосфатов (49, 46, 39 мкг/л), кремния (3.2, 2.8, 2.5 мг/л) и железа (0.17, 0.12, 0.09 мг/л). Характер сезонных изменений температуры воды в разных районах одинаков, однако мелководные верховья быстрее прогреваются весной и охлаждаются осенью. Так, температура воды в мае у с. Михайловское по средним многолетним данным составляет 13.0, 8.4 и 9.2 °С. Анализ сезонных изменений рассматриваемых показателей выявил увеличение мутности, фосфатов, азота, кремния и железа весной и осенью. В верховьях это обусловлено притоком вещества с речными водами, а в нижней части водоема – усилением конвективного и ветрового перемешивания водной массы. Увеличение окисляемости летом можно рассматривать как результат фотосинтеза фитопланктона; в то же время дефицит биогенных элементов в летний период лимитирует развитие водорослей.

Таким образом, выявлена взаимосвязь между развитием фитопланктона и гидролого-гидрохимическими характеристиками вод в разных районах Озернинского водохранилища. Определяющее влияние на развитие фитопланктона оказывает концентрация биогенных веществ. Фитопланктон, в свою очередь, изменяет такие характеристики воды как мутность, содержание кислорода, органических и биогенных веществ, а также численность бактерий.

Д.Ф. Афанасьев^{1,2}, М.М. Середина², Ш.Р. Абдуллин³, Д.В. Сеськова²
ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ
ЧЕРНОГО МОРЯ

¹ Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, г. Ростов-на-Дону, Россия, dafanas@mail.ru

² Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия, dafanas@mail.ru, seredam@yandex.ru

³ Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия, abdullinshrsu@mail.ru

D.F. Afanasyev^{1,2}, M.M. Sereda², Sh.R. Abdullin³, D.V. Seskova²
FEATURES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF MACROPHYTE COMMUNITIES IN BLACK SEA

¹ Azov Research Institute for Fisheries, Rostov-on-Don, Russia, dafanas@mail.ru

² Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, dafanas@mail.ru, seredam@yandex.ru

³ Bashkir State University, Ufa, Russia, abdullinshrsu@mail.ru

Сообщества макроводорослей Черного моря, выделенные методом флористической классификации, проанализированы методом непрямой ординации. Определены две главные оси (факторы) вариации флористического состава выделенных сообществ, взявших на себя 28 % и 16 % общей вариации. Первая ось ординации может быть интерпретирована как фактор сапробности, вторая – как фактор глубины.

В то же время, ординация группы сообществ водорослей выявила комплексный градиент (КГ), вдоль оси которого располагаются выделенные сообщества. КГ включает в себя градиенты абиотических факторов: глубина, освещенность, прибойность, опресненность и сапробность прибрежных вод. КГ складывается из следующих составляющих: удаление от берега, увеличение глубины, связанное с ним снижение освещенности, ослабление интенсивности движения воды, уменьшение сапробности, стабилизация типично морской солености. В самом общем виде, направление КГ совпадает с изменением экологической валентности видов от эврибионтных (приуроченных к мелководью с широким диапазоном колебаний абиотических факторов) к стенобионтным (произрастающих в более стабильных условиях, формирующихся на глубинах свыше 10-15 м).

Так, сообщества *Ulva intestinalis-Ulva rigida* и асс. *Ulva compressae-Cladophoretum albidae* занимают мелководную зону (супралитораль, псевдолитораль, верхние горизонты сублиторали) с максимальным уровнем освещенности и подвижности воды. Сообщества являются эвригалинными в сторону понижения солености и эвритермными. Ассоциация *Cystoseiretum barbatae* также располагается в начале комплексного градиента, что указывает на ее приуроченность к верхним горизонтам сублиторали, эвригалинность и эвритермность. Те же глубины, но в градиенте снижения сапробности воды занимают сообщества *Cystoseira crinita-Cystoseira barbata* и, в более широком диапазоне глубин в сторону их увеличения и в олигосапробных условиях, *Sphacelaria cirrosa-Cladostephus spongiosus* (индикатор чистоты вод). Дальнейшее увеличение глубины и связанное с ним уменьшение амплитуды колебания абиотических факторов определяет формирование ассоциации *Cystoseiretum crinitae*. Наконец, самые нижние горизонты сублиторали занимает сообщество *Phyllophora crispa-Codium vermilara*, способное развиваться в относительно широком градиенте сапробности.

О.В. Бабаназарова, С.И. Сиделев, О.В. Мартыанов, К.П. Коровкина, А.С. Овсенко
СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА ОЗ. НЕРО В МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКЕ: УРОВЕНЬ ВОДЫ –
ФИТОПЛАНКТОН – МАКРОФИТЫ

Ярославский Государственный университет им. П.Г.Демидова, г. Ярославль, Россия,
baba@bio.uniyar.ac.ru

O.V. Babanazarova, S.I. Sidelev, O.V. Martyanov, K.P. Korovkina, A.S. Ovsenko
PHYTOPLANKTON STRUCTURE IN THE LAKE NERO IN LONG-TERM OBSERVATIONS:
WATER LEVEL – PHYTOPLANKTON – MACROPHYTES

P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia, baba@bio.uniyar.ac.ru

Уровень воды в оз. Неро (Ярославская обл.) на исторической памяти человека был зарегулирован плотинами, мельницами, гидротехническими сооружениями. В настоящей работе мы анализируем изменение структуры фитопланктона и степень зарастаемости макрофитами оз. Неро в многолетней динамике изменения уровня воды в водоеме. Данные по уровню воды и объему стока р. Сара с 1930 до 2013 гг. предоставлены ФГБУ «Ярославский ЦГМС». Инженером-гидрологом Е.П. Красновой были рассчитаны ежемесячные значения водообмена оз. Неро. В первый период с 1930 до начала 1950-х гг. уровень варьировал около 93,9 м БС. Во второй период с середины 1950-х до середины 1970-х гг. он характеризовался понижением до 93,7 м БС. В целом эти два периода образуют тренд на понижение и не превышают отметку 94 м БС. Третий период совпадает с началом глобального потепления в Европе (1976 г.). До середины 1980-х гг. уровень повышался, но редко превышал отметку 94 м БС. Во время четвертого периода после 1990-х гг., с вводом новой регулируемой плотины, уровень уже стабильно выше 94 м БС. Последние два периода формируют тренд на повышение, и с конца 1990-х гг. озеро практически преобразовано в водохранилище.

В соответствии с периодами, выделенными по литературным данным и собственным наблюдениям, хорошо вырисовывается картина смены макрофитно-фитопланктонного типа функционирования водоема. Практически полное зарастание озера в 1914 г., в том числе рдестами в центральной и северной частях водоема, при очень низких средних глубинах, не превышающих 1 метра, приводятся в работе С.А. Дамской (1921). В начале 20 в. в озере доминировала *Gloeoetrichia* (Болохонцев, 1903) – Н2 тип по функциональной классификации К. Рейнольдса и др. (2002). В 1925–1927 гг., Б.С. Грезе сообщал, что в открытом пространстве повсюду были распространены рдесты – “тарнава”, которые образовывали на отдельных участках сплошные подводные луга. В фитопланктоне преобладали зеленые хлоро-

кокковые водоросли род *Scenedesmus*, *Pediastrum* – J тип. К началу 1950-х гг. происходит изреживание рдестовых зарослей, что совпадает с циклом небольшого повышения уровня воды в водоеме в первом периоде. Второй период понижения уровня характеризовался возвратным массовым развитием рдестов, в фитопланктоне преобладали *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Scenedesmus* – H1-M-J (Ильинский, 1970). На положительном тренде к концу третьего периода (1989 г.), отмечают сокращение зарослей рдеста по сравнению с 1962 г. В фитопланктоне доминировали *Aphanizomenon*, *Aulacoseira ambigua*, *Scenedesmus communis*, *Pseudanabaena limnetica* – H1-C-J-S1 (Ляшенко, 1991). Современные исследования, проведенные в 2002–2004 гг., и изучение макрофитов в 2012 году подтверждают тенденции уменьшения, вплоть до исчезновения, рдестовых зарослей. Коэффициент зарастаемости в первый период составлял 25,6 %, в 2012 г. – 21,8 % (Папченков, 2008, Бабаназарова и др., 2013). В 2013 г. погруженной растительности, рдестов в центральной и северной частях озера практически не было. С 2003 г. в фитопланктоне преобладают *Limnothrix redekei*, *Pseudanabaena*, *Planktothrix agardhii* – S1 тип (Бабаназарова и др., 2011). Увеличение доли участия планктотрихетового S1 типа фитопланктона, способного значительно понижать прозрачность воды отмечено после ввода ГТС и поднятия летнего уровня воды в озере.

Показана определяющая роль светового режима в конкурентном исключении фитопланктон-макрофиты. По данным за июль 1999–2012 гг. построена регрессионная модель (1) для оценки содержания хлорофилла по прозрачности воды, измеряемой диском Секи, в период максимального формирования макрофитового сообщества водоема:

$$\text{Chl } a = 16.5 \cdot \text{Hпр}^{-1.7} \quad (R^2 = 0,93) \quad (1)$$

Верификация модели по данным июля 2013 г., подтвердила ее высокую прогностическую возможность.

Выполнен пошаговый регрессионный анализ по целому ряду абиотических (прозрачность воды, pH, T°, электропроводность, содержание кислорода, минеральный и общий фосфор, нитратный и аммонийный азот) и биотических показателей (биомасса фитопланктона, биомасса отдельных таксонов водорослей, содержанию хлорофилла в сестоне,). Определено, что на 80% прозрачность воды в оз. Неро зависит прямо и в наибольшей мере от водообмена и обратно от концентрации хлорофилла в сестоне (уравнение 2):

$$\text{Hпр} = 0.41 - 0.48 \cdot \text{Chl } a + 0.58 \cdot \text{Водообмен} \quad (R^2 = 0.80, n = 74) \quad (2)$$

Используя формулу В.В. Бульона (2001), полученную на основе анализа большого количества мелководных зарастаемых водоемов с учетом географической широты расположения последних (lat), можно рассчитать процент зарастаемости макрофитами (q%) по уравнению (3):

$$q = 48.2 + 32.9 \cdot \text{Hпр} / \text{Hср} - 16.9 \cdot (90 : (90 - \text{lat})) \quad (3), \text{ где}$$

Hпр/Hср – коэффициент относительной прозрачности, исчисляемый как отношение прозрачности воды по диску Секки (Hпр) к средней глубине водоема (Hср).

В среднем коэффициент относительной прозрачности за май-сентябрь 2003 - 2013 гг. составил 0,3. Используя формулу (3), получаем процент зарастаемости макрофитами 11,9%. Макрофиты прорастают и конкурируют с фитопланктоном за площади в начале биологического лета (май–июнь). Средний коэффициент относительной прозрачности за июнь 2003-2013 гг. составил 0,25. Соответственно, площадь прогнозируемой зарастаемости 8%.

Полученные результаты выявили важнейшие механизмы функционирования водоема. Определены связи между изменением уровня озера, водообменом и коэффициентом относительной прозрачности с развитием фитопланктона и зарастаемостью макрофитами. На основе этого выработан ряд рекомендаций по регулированию уровня воды в оз. Неро в зависимости от конкретных целей природопользова-

ния. Сохранение действующего в настоящее время режима на уровне 94 м БС и выше в течение практически всего года, благоприятно с позиций водопользователей, расположенных на р. Которосль (г. Гаврилов-Ям и другие поселения). Возвращение к ранее утвержденному в 1997 г. графику работы ГТС с понижением уровня до 93.5–93.7 м БС с конца июня до начала августа положительно скажется на развитии туризма, рекреации, рыболовстве. Ожидаемый отклик опосредован возвратом к развитию погруженных макрофитов. Снижение летнего уровня будет способствовать ведению сельского хозяйства на прилегающих территориях, и укоренению воздушно-водных макрофитов, оторванных льдом, на мелководьях. Увеличение зарослей погруженных макрофитов окажет положительный эффект и на воспроизводство рыбы в озере.

Работа выполнена по Госконтракту №11 Департамента окружающей среды и природопользования Ярославской обл. 2013 г.

Ю.В. Батаева
ВЛИЯНИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
АРИДНОГО КЛИМАТА

Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия, aveatab@mail.ru

Y.V. Bataeva
EFFECT OF CYANOBACTERIA ON PLANT VEGETATION IN ARID CLIMATE

Astrakhan State University, Astrakhan, Russia, aveatab@mail.ru

Цианобактерии фиксируют из атмосферы молекулярный азот, продуцируют биологически активные вещества и продуцируют органическое вещество в почве. Цианобактерии образуют слизистые чехлы и в природных условиях всегда развиваются в сообществе с другими микроорганизмами, вследствие чего обладают адаптационными возможностями и устойчивостью к физико-химическим условиям среды. Такие свойства цианобактерий оказывают благоприятное воздействие на структуру и плодородие почвы, а также на рост, развитие и урожайность растений. Это создает предпосылки для использования цианобактерий в качестве удобрений для сельскохозяйственных культур.

Возможность использования цианобактерий в агротехнологиях в настоящее время изучается в России и за рубежом. В связи с особенностями расположения и аридным климатом Астраханского региона, на его территории развиваются специфические цианобактериальные сообщества, обладающие устойчивостью к высоким температурам, повышенной солености, интенсивности света, высушиванию, ультрафиолетовому облучению.

С помощью метода накопительных культур на основе отобранных на территории Астраханского региона почвенных и ризосферных образцов, выделены цианобактериальные сообщества. В лабораторных опытах проведены исследования по влиянию выделенных сообществ на рост растений. Из 25 исследуемых цианобактериальных сообществ в опыте с семенами кресс-салата (семейство крестоцветные) отобрано 8 сообществ с наиболее активными стимулирующими рост свойствами.

Идентифицированы доминирующие роды цианобактерий в данных сообществах. Структурообразователями сообщества №2 являются азотфиксирующие цианобактерии рода *Anabaena* и колониальные рода *Microcystis*; сообщества №5 – род *Amorphanostoc*; сообщества №6 – нитчатые цианобактерии рода *Phormidium*; сообщества №11 – род *Microcystis*; сообщества №12 – нитчатые цианобактерии рода *Oscillatoria* и колониальные рода *Microcystis*; сообщества №14 – род *Cyanothrix*; сообщества №15 – нитчатые цианобактерии рода *Oscillatoria*; сообщества №21 – азотфиксирующие рода *Nostoc*.

В лабораторном опыте по влиянию цианобактериальных сообществ на рост томатов (*Solanum lycopersicum* L.) на ранних стадиях развития растений наиболее ак-

тивное действие оказали сообщества №2, №11, №15, №21, в сравнении с контролем. Растения, обработанные сообществом №2, имели длину побегов на 64% больше, чем в контроле. Среднее количество листьев на одном растении при обработке сообществом №2 превышало контроль на 7.5.

На втором этапе опытов целью было определить наиболее эффективную концентрацию цианобактерий при бактеризации томатов в сравнительном аспекте с бактериями вида *Bacillus megaterium*, препаратом-фитогормоном «Эпин-экстра». Оценка влияния цианобактериальных сообществ на всхожесть и рост томатов показала, что концентрация сырой биомассы 0.05 г/мл воды (сухая биомасса составила 0.005 г/мл) является наиболее эффективной. Обработка семян томатов в лабораторных условиях суспензией цианобактерий и удобрением «Эпин-экстра» увеличивала всхожесть на 60 и 20%, рост на 69 и 27%, количество листьев на 67 и 16%, соответственно, по сравнению с контролем. Обработка растений бактериями рода *Bacillus* не оказывала стимулирующего действия.

Опыты по исследованию фунгицидной активности сообществ №2, №11, №15, №21 показали положительные результаты. Сообщество №15 обладает фунгицидной активностью по отношению ко всем исследуемым фитопатогенам, с наибольшим диаметром зоны ингибирования (3.2 ± 0.1 см). Наибольшую фунгицидную активность все исследуемые сообщества проявили по отношению к *Fusarium sporotrichioides*, а наименьшую к *Alternaria tenuissima*. На 30-е сут культивирования, исследуемые цианобактериальные сообщества полностью подавили рост фитопатогенов, что проявилось в исчезновении мицелия фитопатогенов на поверхности и внутри агара, зарастании поверхности агара пленками из цианобактерий.

Исследование колонизации ризосферы томатов цианобактериями показало прикрепление микроорганизмов к корням во всех вариантах опыта. Корешки растений длиной 1 см с цианобактериальными обрастаниями помещали в среду Громова-6 на 1 месяц, затем фиксировали оптическую плотность суспензии. Наибольшая оптическая плотность (0.114 ± 0.25) наблюдалась в суспензии при обработке проросших семян томатов сообществом №2. Визуальные, микроскопические и спектрофотометрические данные показали, что наибольшей колонизирующей способностью для томатов обладало сообщество №2, что позволяет считать его активным колонизатором томатов.

В результате проведенных экспериментов отобрано несколько сообществ цианобактерий, которые можно использовать для дальнейших разработок в агробиотехнологиях. Они обладают наиболее активными стимулирующими рост растений и фунгицидными свойствами, а также способностью колонизировать ризосферу растений.

А.Г. Благодатнова

К ВОПРОСУ О СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ И ВОДОРОСЛЕВЫХ ЦЕНОЗОВ ПАЛЕОПОЧВ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА ВОЛОДАРКА (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия,
ablagodatnova@yandex.ru

A.G. Blagodatnova

ABOUT STRUCTURE OF CYANOBACTERIAL AND ALGAL CENOSES IN PALEOSOILS OF THE KEY AREA VOLODARKA (ALTAY TERRITORY)

Novosibirsk state pedagogical university, Novosibirsk, Russia, ablagodatnova@yandex.ru

Важность исследования палеопочв не вызывает сомнения, поскольку именно они несут информацию об экологических условиях прошлого (Дергачева, 2011) и указывают возможный вектор развития современных экосистем. Палеоальгология решает актуальные вопросы, касающиеся не только восстановления систематических характеристик водорослей былых эпох, но и изучения эколого-трофических

взаимоотношений, а в итоге и восстановления палеоэкологической обстановки (Ярков, 2008). За последнее время накоплен огромный материал о качественном составе альгофлор различных геологических периодов (Кордэ, 1973; Лучинина, 2006; Poulsen, 1996), показана перспективность ископаемых водорослей для создания зональной автономной шкалы как стандарта для расчленения и корреляции отдельных интервалов верхней юры Западной Сибири (Трубицына, Ильина, 2007), доказана несомненная информативность остатков водорослей для выявления картины осадконакопления (Злобина, 2009). Это лишь некоторые аспекты возможности использования палеоальгофлор с целью получения ценнейшей информации. Заселение палеопочв водорослями современной флоры (для удобства изложения материала понятие «водоросли» включает и цианобактерии) на данный момент практически не изучен. Каковы механизмы освоения этого уникального природного тела нынешними представителями альгофлоры? Каким образом эти низшие организмы влияют на трансформацию палеопочв?

В статье приведены данные о цианобактериальных и водорослевых ценозах (ЦВЦ) палеопочв ключевого участка Володарка. Исследования проведены в 1,5 км на юго-восток от с. Володарка (Топчихинский р-н Алтайского края). Территория находится на Приобском лессовом плато, в степной его части (Черепанова, 2011), одна из почв которой представляет собой толщу древних почв, вышедшей на поверхность в результате эрозионного смыва вышележащих над ней отложений (Захарова, 2011). Эта древняя почва формировалась при относительно более благоприятных для процесса гумусообразования условиях увлажнения (соотношение $C_{гк}:C_{фк}$ варьирует от 0,39 до 1,85), чем современная почва (Пономарев, 2011). Материалом исследования послужили 30 почвенных образцов, которые были отобраны послойно (через каждые 5 см). Отбор проб производили по всем правилам альгологических сборов (Голлербах, Штина, 1969). Для определения водорослей использована монография «Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли» (Андреева, 1998), цианопрокариоты диагностированы по (Komarek, Anagnostidis, 2005).

Всего в почве исследованной территории обнаружено 4 вида водорослей и 1 вид цианобактерий. Все водоросли отнесены к отделу Chlorophyta. Для современных же почв степной зоны характерно превалирование Cyanoprokariota, что подтверждено многолетними исследованиями (Пивоварова, 2010; Кузяхметов, 2011). В спектре ЦВЦ представлены только одновидовые семейства Chlorococcaceae, Neochloridaceae, Radiococcaceae, Chlorellaceae, Chlorosarcinaceae, Oscillatoriaceae и роды *Chlorococcum*, *Mymecia*, *Gloeocestis*, *Chlorella*, *Neochlorosarcina*, *Phormidium*. Обращает на себя внимание тот факт, что эти таксоны водорослей не являются типичными для современных степных почв (Пивоварова, 2010). Семейство же Oscillatoriaceae и род *Phormidium* (Cyanoprokariota), напротив, характерны для степей (Пивоварова, 2009). Зеленые водоросли представлены видами *Chlorococcum hypnosporum* Starr, *Mymecia bisecta* Reisingl., *Gloeocestis polydermatica* (Küts.) Hind., *Chlorella vulgaris* Beijer., *Neochlorosarcina minuta* (Groover et Bold) Watanabe, цианопрокариоты – *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom. Ниже приведены некоторые характеристики обнаруженных видов.

Chlorococcum hypnosporum представлен шаровидными клетками до 25 мкм в диаметре, заполненными маслом. Оболочка клеток тонкая. Хлоропласт шаровидный. Пиреноид окружен крупными зёрнами крахмала. Слизь практически не образует. Встречены единичные клетки в слизи *Gloeocestis polydermatica*.

Mymecia bisecta. В культуре присутствовали скопления шаровидных клеток около 17 мкм в диаметре. Оболочка тонкая без утолщений. Хлоропласт шаровидный. Скопления образуют слизь, в которой встречены нити *Phormidium foveolarum*.

Gloeocestis polydermatica образует слизистые аморфные колонии. Клетки эллипсоидные около 5 мкм в длину и 3 мкм в ширину. Хлоропласт чашевидный. В слизи

этой водоросли обнаружены все другие представители ЦВЦ, за исключением *Chlorella vulgaris*. Слизь *G. polydermatica*, вероятно, создает необходимые микроэкологические условия для обитания других видов, не способных самостоятельно существовать в аридных степных экосистемах.

Chlorella vulgaris в культуре имеет одиночные шаровидные клетки до 4 мкм в диаметре. Оболочка тонкая. Хлоропласт чашевидный. Часто клетки водоросли встречались в дерновинках *Phormidium foveolarum*.

Neochlorosarcina minuta образует колонии из кубических 8-10 клеток. Образует слизь. Так же в культуре встречены одиночные шаровидные клетки до 6 мкм в диаметре. Хлоропласт лопастной. И колонии, и одиночные клетки обнаружены в слизи *Gloeocestis polydermatica*.

Phormidium foveolarum образует черновато-зеленоватые дерновинки. Трихомы искривленные, до 3 мкм в ширину. Влагалища толстые. Одиночные трихомы не встречались. Наиболее число нитей обнаружено в слизи *Gloeocestis polydermatica*. Так же выявлены группировки *Phormidium foveolarum* с *Chlorella vulgaris* и *Mymecia bisecta*. По мнению Г.Г. Кузяхметова (2011) вид требователен к содержанию кальция в почве.

Таким образом, *Gloeocestis polydermatica* является тем видом, который сосредотачивает в своей слизи все остальные виды водорослей и цианобактерий. В то же время, *Phormidium foveolarum* (за счет трихальной структуры) выполняет функции «мостиков» между различными группировками водорослей. Все вышеперечисленные представители ЦВЦ являются убиквистами и встречаются во многих типах почв.

Таким образом, возникает вопрос, возможно ли при помощи почвенных водорослей и цианопрокариот реконструировать ландшафт и климатические условия территории за определенный отрезок времени? Водоросли и цианобактерии современной флоры через латентные состояния могут индицировать те или иные конкретные почвенно-экологические условия. Индикационная значимость почвенных водорослей и цианобактерий заключается в их высокой скорости генерации, пойкилогидричности, стенобионтности. Водоросли за короткий промежуток времени могут не только указывать на изменения условий, но и способны быстро адаптироваться, играя существенную роль в поддержании стабильности и надежности экосистем.

Дергачева М.И. Возможности и ограничения в использовании педогумусового метода при изучении типов и условий древнего педогенеза // Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого. Новосибирск, 2011. С.34-40.

Захарова Е.Г. Варьирование свойств в верхней части современных почв и поверхностных палеопочв ключевого участка Володарка (Барнаульское Приобье) // Там же. С. 91-94.

Кордэ К. Б. Водоросли Кембрия. М.: Наука, 1973. 147 с.

Пономарев С.Ю. Некоторые характеристики полигенетического чернозема восточной окраины Приобского плато (на примере ключевого участка «Володарка») // Там же. С. 122-125.

Трубицына А.Н., Ильина В.И. Биостратиграфия келловей-верхнеюрских отложений Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) по диноцистам // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Второе Всерос. совещание: науч. матер.. Ярославль: Изд-во ЯГПУ. С. 235–239.

Черепанова Е.И. Экологические условия формирования степных почв на примере окрестностей села Володарка (Алтайский край) // Палеопочвы - хранители информации о природной среде прошлого. Новосибирск, 2011. С. 135–139.

Ярков А.А. Водоросли океана Тетис Волгоградской области // Волгоград: Стержень, 2008. С. 91–113.

Poulsen N.E. Dinoflagellate cysts from marine Jurassic deposits of Denmark and Poland AASPF, Contribution series. 1996. N 31. 227 p.

О.И. Боднар, Г.Б. Винярская, А.В. Станиславчук, В.В. Грубинко
АЗОТИСТЫЙ ОБМЕН У *CHLORELLA VULGARIS* ПРИ ДЕЙСТВИИ СЕЛЕНИТА НАТРИЯ

Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, г. Тернополь, Украина,
bodnar_oksana@mail.ru

O.I. Bodnar, H.B. Viniarska, A.V. Stanislavchuk, V.V. Grubinko
NITROGEN METABOLISM IN *CHLORELLA VULGARIS* UNDER THE INFLUENCE OF
SODIUM SELENITE

V. Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine, bodnar_oksana@mail.ru

Глутаматдегидрогеназа (ГДГ) – фермент биосинтеза глутамата, который является важнейшим метаболитом, связывающий обмен углеводов и аминокислот, а также регулирующий направленность и скорость энергетического и азотистого обмена. В большинстве организмов обнаружено ГДГ двух типов, которые отличаются молекулярной массой, сродством к определенному кофактору НАД(Н) или НАДФ(Н), и, соответственно, метаболической ролью: 2-оксоглутарат + NH_4^+ + НАД(Ф) Н ↔ глутаминовая кислота (глутамат) + НАД(Ф)⁺ + H_2O . Известно, что у растений и водорослей дезаминирование глутамата осуществляет НАД(Н) зависимая форма ГДГ — катаболическая функция, а его синтез НАДФ(Н) зависимый фермент — анаболическая функция (Шатилов, 1987).

Задачей настоящей работы было изучение соотношения активности ГДГ с НАД(Н) и НАДФ(Н) в клетках водорослей при действии селенита натрия в модельном эксперименте. Объектом исследования была *Chlorella vulgaris* Beijer., которую выращивали в условиях накопительной культуры. Селен вносили в виде селенита натрия из расчета на Se^{4+} – 0.5 мг/дм³; 5.0 мг/дм³; 10.0 и 20.0 мг/дм³. Контролем служила культура, выращиваемая в среде без дополнительного внесения селенита. Отбор проб для анализа осуществляли на 1-е, 3-и и 7-е сут культивирования. Активность фермента определяли спектрофотометрическим методом по скорости окисления НАДН и НАДФН (Шатилов, 1987).

Известно, что основным механизмом биологического действия соединений селена является его участие в антиоксидантных защитных процессах. Вместе с тем, соединения селена при повышенных концентрациях в воде оказывают и значительное токсическое действие, вызывая нарушения метаболизма, угнетение роста и размножение клеток (Барабой, 2004; Abdel-Hamid, 1995). Нами установлено, что при действии селенита при всех исследуемых концентрациях активность НАД-зависимой ГДГ в клетках *Ch. vulgaris* была выше по сравнению с активностью НАДФ-зависимой ГДГ. Так, при внесении минимальной концентрации 0.5 мг/дм³ Se^{4+} активность НАД-ГДГ на 1-е сут эксперимента практически не изменилась, на 3-и сут – увеличилась более чем в 2 раза, на 7-е сут несколько снизилась, но оставалась больше контрольного значения на 63%.

В то же время, НАДФ-зависимая глутаматдегидрогеназа в клетках водорослей в присутствии селенита 0.5 мг/дм³ в среде культивирования ингибировалась. В течение практически всего эксперимента уровень ее активности составлял почти треть от показателей в контроле. При влиянии Se^{4+} в концентрации 5,0 мг/дм³ катаболическая форма глутаматдегидрогеназы резко активировалась по сравнению с контрольным вариантом, соответственно, в 3.1 и 4.5 раза в 1-е и 3-и сут. В конце эксперимента (7-е сут) активность НАД-ГДГ уменьшилась в 2 раза по сравнению с предыдущей, но оставалась выше, чем в контроле на 128 %.

Активность анаболической формы фермента при действии селенита в концентрации 5.0 мг/дм³ существенно не изменялась: на 1-е сут эксперимента она уменьшилась на четверть, на 3-и – ее значение в два раза превышало показатель в контроле. Влияние селена в количестве 5,0 мг/дм³ в течение семи суток вызвало снижение функциональной деятельности фермента, однако его значение оставалось близким к контролю (91,7% в сравнении с физиологичною нормой).

Концентрация селена в среде культивирования 10.0 мг/дм³ обусловила по сравнению с другими исследуемыми концентрациями наименее заметные изменения как в отношении НАД-зависимой, так и НАДФ глутаматдегидрогеназ. Так, активность катаболической формы ГДГ у *Ch. vulgaris* на 3-и сут опыта увеличилась на 44 % относительно контрольных показателей, а анаболической – не изменилась и оставалась практически такой же, как без дополнительного внесения Se⁴⁺. В конце эксперимента функциональные возможности фермента в клетках водоросли увеличились по сравнению с контролем почти на 110 % для НАД – ГДГ и на 18.5 % для НАДФ – ГДГ.

Влияние максимальной концентрации селена (20.0 мг/дм³) в среде культивирования хлореллы было аналогичным минимальной (0.5 мг/дм³) концентрации селенита. Так, активность НАД-зависимой глутаматдегидрогеназы на протяжении 1-х сут увеличилась более чем в 2 раза, на 3-и сут превысила контрольные показатели почти в 3.5 раза, на 7-е сут реакционная способность ГДГ несколько уменьшилась по сравнению с предыдущими измерениями, но ее значение оставалось на 184% выше, чем в контроле.

Селенит в концентрации 20.0 мг/дм³ существенно ингибировал НАДФ-зависимую ГДГ. В течение первых трех суток ферментная активность уменьшилась вдвое, а на 7-е сут возросла на 10% по сравнению с 3-ми сут, но оставалась меньше показателей в контроле почти на 40%.

Таким образом, соотношение НАДН/НАДФН ГДГ в течение эксперимента при концентрациях 0.5, 5.0 10.0 и 20.0 мг/дм³ селенита составляет, соответственно: на 1-е сут влияния – 1:0,34, 1:0,24, 1:0,21; 3-и сут – 1:0.15, 1:0.42, 1:0.68, 1:0.15; и на 7-е сут – 1:0.18, 1:0.40, 1:0.56, 1:0.22. При действии селенита натрия во всех исследуемых концентрациях происходит смещение реакции в сторону дезаминирования глутамата и образования α-кетоглутарата, используемого в цикле Кребса, его недостаток способен нарушить функционирование и энергетическое обеспечение клеток. Вместе с этим, высокая активность НАД-ГДГ способствует образованию восстановленной формы НАДН, которая используется в дыхательной цепи, регулируя энергетический баланс митохондрий (Minfin, Habash, 2002). Поддержание определенного соотношения активности обеих форм ГДГ, очевидно, позволяет клеткам водоросли направлять биохимические процессы для поддержания оптимального уровня энергетического гомеостаза в ответ на, скорее всего, стрессовое воздействие селенита натрия.

Барабой В.А., Шестакова Е.Н. Селен: биологическая роль и антиоксидантная активность. // Укр. біохім. журн. 2004. Т. 76, № 1. С. 23–32.

Шатилов В.Р. Глутаматдегидрогеназы // Энзимология ассимиляции аммония у растений: сб. науч. трудов. М.: ВИНТИ, 1987. С. 4–104.

Abdel-Hamid M.I., Skulberg O.M. Effect of selenium on the growth of some selected green and blue-green algae // Lakes Reserv.: Res. Manage. 1995. V. 1, N 3. P. 205–211.

Minfin B.J., Habash D.Z. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in nitrogen utilization // J. Exp. Bot. 2002. V. 53, N 370. P. 979–987.

Н.А. Бондаренко, Е.А. Волкова, О.А. Тимошкин
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ АЛЬГОЦЕНОЗОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, nina@lin.irk.ru

N.A. Bondarenko, E.A. Volkova, O.A. Timoshkin
CURRENT STATUS OF COASTAL ALGAL COENOSSES OF LAKE BAIKAL

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia, nina@lin.irk.ru

Структурные и продукционные характеристики альгоценозов являются надежными и информативными показателями состояния водоемов в связи с такими очевидными преимуществами автотрофов как короткий жизненный цикл и способность

быстро реагировать на изменения условий окружающей среды. Для анализа современного состояния прибрежных альгоценозов озера Байкал использовали материалы сборов 2000-2014 гг. Зона литорали Байкала занимает около 7% общей площади озера (Фиалков, 1983), но процессы, протекающие здесь, оказывают существенное влияние на жизнь всего водоема, так как побережье является своеобразным буфером между наземными, почвенными и водными биотопами.

Визитной карточкой побережья являются пять четко выраженных поясов донных макроводорослей, большинство из которых являются эндемиками Байкала (Мейер, 1930; Ижболдина, 2007 и др.). В последние годы были выявлены изменения в структуре доминирующих видов макроводорослей озера: наряду с типичными обитателями стали в массе развиваться ранее несвойственные виды рода *Spirogyra* Link. (Кравцова и др., 2012; Volkova et al, 2013). Как считают авторы, массовое развитие спирогиры приурочено к местам повышенной концентрации биогенных элементов, в частности, обусловленной сбросом недостаточно очищенных сточных вод, а населенные пункты, располагающиеся в прибрежной зоне озера Байкал, как правило, не имеют централизованной системы очистки бытовых сточных вод. Кроме того, в последние годы выросло в несколько раз число туристов и, как следствие, частных гостиниц. В связи с чем, было выдвинуто предположение, что массовая вегетация чужеродных макроводорослей, вероятнее всего, обусловлена прогрессирующей эвтрофикацией (Кравцова и др., 2012). В то же время гидрохимические исследования не отмечают резких изменений в биогенной нагрузке по сравнению с данными, полученными в 1950-х и 1960-х гг. и служащими фоновыми для дальнейших исследований (Голобокова и др., 2009; Томберг и др., 2012): в прибрежных водах озера содержание фосфатного фосфора не превышало 1-6 мкг/л. Эти авторы выявили повышенное содержание фосфатов, до 10, 5 мкг P/л, только в акваториях, прилегающих к крупным населенным пунктам.

Анализ современного состояния прибрежного фитопланктона озера также показал изменения в его структуре и количественных характеристиках. Например, в наиболее заселенной южной котловине озера численность *Chlamydomonas komma* Skuja в последние годы возросла. Этот вид в составе планктона ранее (1975-1999 гг.) не регистрировался, в единичных количествах был отмечен только в начале 2000-х годов. В планктоне в местах, где расположены населенные пункты, особенно в районе п. Култук, городов Слюдянка и Байкальск, были обильны нитчатые водоросли рода *Spirogyra* Link. Здесь же в весенний период 2013 г. отсутствовали (или были представлены единичными экземплярами) водоросли «байкальского комплекса»: считавшиеся эндемиками озера *Aulacoseira baicalensis* (K. Meyer) Sim., *Cyclotella baicalensis* Skv., *Stephanodiscus meyeri* Genkal et Popovsk., а также спорообразующая форма *A. islandica*, – присутствующие в фоновых районах озера. Сравнение ситуации с прошлым веком (Антипова, 1964; Поповская, 1991; Бондаренко, 1997) показывает, что к концу XX века и в начале нынешнего существенно снижена биомасса фитопланктона в годы интенсивного развития весенних видов водорослей, так называемые «урожайные» годы. Максимальная биомасса – 2.5 мг/м³ – была в исследуемый период зафиксирована для побережья в 2002 г., хотя ранее более высокие значения (4 мг/м³) были отмечены даже в пелагиали озера (Поповская, 1991).

Поскольку большая степень изменений и в планктонных, и в донных сообществах выявлена в местах, прилегающих к населенным пунктам, то, на первый взгляд, просматривается влияние локальных факторов. Согласно концепции (Миничева и др., 2013), их воздействие распространяется на небольшие акватории (от нескольких десятков до сотен метров от источников постоянного загрязнения). Во всех населенных пунктах, расположенных в исследуемом нами районе, произошла трансформация прибрежных биотопов вследствие берегового строительства, везде есть рекреационная нагрузка и сброс недостаточно очищенных сточных вод. Кроме того, изме-

нения в южной котловине Байкала предполагают не только локальный, но и большой масштаб, возможно и регионального воздействия, к которым можно отнести изменение качества стока р. Селенги (Сороковикова и др., 2013). Нельзя не учитывать и воздействие глобальных факторов, таких как изменения климатических параметров. Возрастающий уровень климатических аномалий становится серьезным фактором, способным нарушать скорость продукционных процессов и структурно-функциональную организацию альгосообществ, что в настоящее время наблюдается, в частности, в прибрежной и шельфовой зонах Черного моря (Миничева и др., 2013). В любом случае, полученные нами результаты наряду с литературными сведениями свидетельствуют о начале эвтрофикации участков прибрежной зоны Байкала, приуроченных к ряду населенных пунктов.

Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта СО РАН № VI.51.1.10 «Современное состояние, биоразнообразие и экология прибрежной зоны озера Байкал».

Бондаренко Н.А. Структура и продукционные характеристики фитопланктона озера Байкал: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 1997. 23 с.

Голобокова Л.П., Сакирко М.В., Онищук Н.А. и др. Гидрохимическая характеристика вод литорали северо-западного участка Южного Байкала // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск: Наука, 2009. Т. II: Водоемы и водотоки юга Восточной Сибири и Северной Монголии. Справочники и определители по фауне и флоре озера Байкал. С. 760–784.

Ижболдина Л.А. Атлас и определитель водорослей фитобентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии. Новосибирск: Наука, 2007. 248 с.

Кравцова Л.С., Ижболдина Л.А., Ханаев И.В. и др. Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничный озера Байкал // ДАН. 2012. Т. 447, №2. С. 227–229.

Мейер К.И. Введение во флору водорослей озера Байкала // Бюл. МОИП. Отд. биологии. М., 1930. Т. 39., вып.3-4. С. 179-396.

Миничева Г.Г., Тучковская Ю.С., Большаков В.Н. и др. Реакция альгосообществ северо-западной части Черного Моря на локальные, региональные и глобальные факторы // Альгология. 2013. № 1. С. 19-36.

Поповская Г.И. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения (1958-1990): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1991. 32 с.

Сороковикова Л.М., Поповская Г.И., Томберг И.В. и др. Качество воды р. Селенга на границе с Монголией в начале XXI в. // Метеорология и гидрология. 2013. №2. С. 93-103.

Томберг И.В., Сакирко М.В., Домышева В.М. и др. Первые сведения о химическом составе интерстициальных вод заплесковой зоны озера Байкал // Изв. Иркутского гос. ун-та. Серия «Биология. Экология». 2012. Т. 5, № 3. С. 64–74.

Фиалков В.А. Течения прибрежной зоны озера Байкал. Новосибирск, 1983. 192 с.

Volkova V., Bondarenko N., Tomberg I., Timoshkin O. Intensive growth of *Spirogyra fluviatilis* Hilse (Streptophyta): structural changes in the benthic flora of lake Baikal coastal zone, East Siberia // ECSA 53: 'Estuaries and Coastal Areas in Times of Intense Change'. 13-17 October 2013. China, 2013.

О.С. Бугранова

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА НИЖНЕГО УЧАСТКА РЕКИ НЕМАН
В ОСЕННИЙ ПЕРИОД**

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия,
Olesya.bugranova@gmail.com

O.S. Bugranova

**THE FIRST RESULTS OF PHYTOPLANKTON STUDY IN THE LOWER PART OF
THE NEMAN RIVER IN AUTUMN**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, Olesya.bugranova@gmail.com

Неман – одна из значительных рек бассейна Балтийского моря, вторая после Даугавы река Прибалтики впадает в Куршский залив. По ней проходит северная граница Калининградской области на протяжении 100 км. Ее общая длина составляет 937 км, площадь водосбора – 98200 км². Многоцелевое использование р. Неман в хозяйственной деятельности человека (водоснабжение, сброс промышленно-бытовых и сельскохозяйственных стоков, судоходство и т.д.) приводит к ухудшению

ее санитарного и экологического состояния, а также снижению качества вод, поступающих в Куршский залив и далее в Балтийское море, и соответственно падению его рыбопродуктивности. Согласно литературным источникам, регулярные исследования видового состава и обилия фитопланктона р. Неман (Калининградская область) до настоящего времени не проводились. Цель данной работы – оценка состава и численности фитопланктона в нижнем течении реки Неман в осенний период.

Материал был собран в составе комплексной экспедиции, проведенной в сентябре и ноябре 2013 г. на шести станциях, расположенных вдоль нижнего участка реки Неман. Отбор проб объемом 0.5 л осуществлялся на ст. 1–4 в сентябре, а на ст. 5–6 – в ноябре из поверхностного слоя воды глубиной 0.5 м. Подготовка проб к подсчету и определения численности фитопланктона была проведена по общепринятой методике. Таксономическую принадлежность водорослей определяли по: Определитель пресноводных водорослей СССР (Забелина и др., 1951; Голлербах и др., 1953; Киселев, 1954; Паламарь-Мордвинцева, 1982), Визначник прісноводних водоростей Української РСР (Кондратьева, 1968; Матвієнко, Литвиненко, 1977), а также: Косинская, 1960; Starmach, 1966, 1968, 1974, 1980, 1983, 1985; Komárek, Fott, 1983; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991.

В период исследования в планктоне нижнего участка р. Неман было выявлено 43 вида водорослей, относящихся к пяти отделам, из которых зеленые водоросли составили 49 % (21 вид) общего видового состава, диатомовые – 26% (11), синезеленые – 21% (9), криптофитовые и золотистые по 2% (1). Всего в пробах было выявлено 28 родов водорослей. Их наибольшее относительное число насчитывалось среди диатомовых и зеленых водорослей (по 39 %). Золотистые и криптофитовые водоросли представлены по одному роду, что составило всего 4 % от общего количества родов. Наибольшее число видов насчитывалось в родах *Scenedesmus* Meyen (6), *Pediastrum* Meyen (5), *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont (4), в родах *Anabaena* St. Vincent ex Bornet & Flah, *Microcystis* Kützing, *Crucigeniella* Lemmermann — по два вида в каждом, а остальные роды представлены одним видом. На долю 6 ведущих родов фитопланктона приходился 21 вид (49 % общего состава водорослей).

В альгофлоре реки обнаружено 22 монотипных рода, составляющие 79 % их общего числа. Наибольшее количество среди них (11) составляли диатомовые водоросли из родов *Achnanthes*, *Amphora*, *Asterionella*, *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Navicula*, *Nitzshia*, *Tabellaria*. Из зеленых водорослей встречено 8 монотипных родов: *Actinastrum*, *Coenocystis*, *Crucigenia*, *Oocystis*, *Phacomyxa*, *Sphaerocystis*, *Staurastrum*, *Tetrastrum*, из синезеленых, золотистых и криптофитовых – по одному, *Dactylococcopsis*, *Dynobryon*, *Komma* соответственно.

Эколого-географический анализ показал, что состав альгофлоры сформирован, в основном, космополитами, облигатными обитателями планктона и пресноводными видами, среди которых индифференты составляли 99%. Олигогалобы в планктоне водоема были представлены одним видом – *Pediastrum boryanum*. По отношению к рН большинство обнаруженных видов относятся к алкалифилам (60 %), на долю индифферентов и ацидофилов приходится всего по 20 % видов. Среди видов-индикаторов органического загрязнения наибольшее число составляли β-мезосапробы (61% от общего состава водорослей, для которых была определена сапробность): *Microcystis pulvereae*, *Dinobryon divergens*, *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum duplex*, *Pediastrum tetras*, *Scenedesmus acuminatus*, *Scenedesmus armatus*, *Scenedesmus bicaudatus*. Доля олиго-β-мезосапробов составляла 31%: *Oscillatoria redekei*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Pediastrum simplex*, а β-α-мезосапробов – 8%: *Komma caudata*.

Суммарная численность синезеленых водорослей на всех станциях в исследованный период достигала 13×10^6 кл./л, зеленых – 5×10^6 , диатомовых – 2×10^6 , криптофитовых – 69×10^3 и золотистых – 3×10^3 кл./л. Общая численность фито-

планктона значительно варьировала между станциями. Наибольших значений она достигала на ст. 1–4 в сентябре, когда температура воды была еще достаточно высокой и достигала 16.8 °С. На ст. 5–6 в ноябре она значительно снижалась по мере понижения температуры до 3.9–4.8 °С. В сентябре на первых трех станциях преобладали синезеленые водоросли, где их численность составляла 4×10^6 , 3×10^6 и 4×10^6 кл./л, соответственно. Наименьшее их развитие наблюдалось в ноябре на ст. 5 (0.4×10^6 кл./л). В ноябре на фоне снижения общего обилия фитопланктона его структуру определяли как синезеленые, так и зеленые водоросли, численность которых на ст. 5 и 6 достигала 0.6×10^6 и 0.3×10^6 кл./л соответственно. Наибольшее развитие диатомовых водорослей наблюдалось в сентябре на ст. 3 (0.7×10^6 кл./л), наименьшее – в ноябре на ст. 5 и 6 (66×10^3 кл./л и 69×10^3 кл./л соответственно). Крптофитовые и золотистые водоросли отмечены только в сентябре на ст. 1 и 3, где их суммарная численность достигала 45×10^3 кл./л и 27×10^3 кл./л, соответственно.

Вассер С. П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Водоросли: справочник. Киев: Наук. дума, 1989. – 608 с.

Калининградская область: очерки природы / сост. Д.Я. Беренбейм. Калининград: Янтар. Сказ., 1999. 228 с.

Корнева Л.Г. Фитопланктон Рыбинского водохранилища: состав, особенности распределения, последствия эвтрофирования // Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. С. 50–113.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 318 с.

Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / С.В. Шибаев, М.М. Хлопников, А.В. Соколов и др., Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. 200 с.

Управление и развитие водных ресурсов в Калининградской области, Россия, в целях укрепления экономического роста и экологически устойчивого развития с примерами из практики Литвы, Польши и Швеции. http://www.siwi.org/documents/Resources/Papers/Paper_Kaliningrad_RUS_Final.pdf

**Г.Б. Винярская, О.И. Боднар, А.В. Станиславчук, В.В. Грубинко
НАКОПЛЕНИЕ СЕЛЕНА В КЛЕТКАХ *CHLORELLA VULGARIS***

Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, г. Тернополь, Украина,
viniarska_halia@mail.ru

**H.B. Viniarska, O.I. Bodnar, A.V. Stanislavchuk, V.V. Grubinko
ACCUMULATION OF SELENIUM IN *CHLORELLA VULGARIS* CELLS**

V. Hnatiuk Ternopol National Pedagogical University, Ternopol, Ukraine, viniarska_halia@mail.ru

Потребность водорослей в селене зависит от видовых особенностей их метаболизма и колеблется от сотых частей микрограмма до десятков миллиграммов. Накопление и метаболическая реакция водорослей на содержание в среде этого микроэлемента зависит от химической формы соединений селена, его концентрации и длительности влияния. Известно, что степень ингибирования роста и развития водорослей выше при действии высоких концентраций селенатов, чем селенитов. Поэтому водоросли для обеспечения жизнедеятельности предпочитают поглощать из среды обитания соединения Se^{4+} по сравнению с Se^{6+} . Микроводоросли аккумулируют селен, главным образом, в состав высокомолекулярных соединений (белки, полисахариды и липиды), при этом процессы накопления существенно преобладают над процессами его экскреции (Боднар, 2013; Fatoki, 1997; Wang Dazhi, 2003; Zhi-Yong Li, 2003).

Целью работы было исследование накопления соединений селена и их включение в органические соединения у одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer., которую выращивали в условиях накопительной культуры. В среду вносили селенит натрия – 0.5; 5.0; 10.0 и 20.0 $mgSe^{4+}/дм^3$. Как контроль использовали водоросли, выращиваемые на среде без дополнительного внесения селенита. От-

бор проб для анализа осуществляли на 3-и и 7-е сут эксперимента. Белки, углеводы и липиды выделяли по соответствующим методикам – Вовк, 1988; Филиппович, 1975 и методом Фолча (Методы..., 1982). Селен определяли спектрофотометрическим методом с о'-фенилендиамином (Шкробот, 1966).

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что включение селена в состав углеводов *Ch. vulgaris* достаточно интенсивно: на 3-и сут эксперимента содержание селена в них увеличилось на 167%, 33% и 25% при концентрациях селенита в среде 0.5, 5.0, 10.0 и 20.0 мг/дм³ соответственно, а при действии 10.0 мг Se⁴⁺/дм³ имело место уменьшение его количества на 20% относительно контроля; на 7-е сут эксперимента количество селена в углеводах увеличилось по сравнению с контролем на 33, 62 и 143 % соответственно. Однако при действии 10.0 мгSe⁴⁺/дм³ содержание микроэлемента снизилось на 52% относительно контроля.

Содержания селена в белках *Ch. vulgaris* при действии всех исследуемых концентраций селенита на 3-и сут увеличилось. Однако наибольшее включение селена в белки наблюдали на 7-е сут эксперимента при концентрациях Se⁴⁺ 5,0 и 20.0 мг/дм³. Селенит в концентрациях 0.5, 5.0, 10.0 и 20.0 мг/дм³ на 3-и сут накапливался в белках соответственно на 63%, 72%, 35% и 98% больше, чем в контроле. На 7-е сут инкубации хлореллы с селенитом 0.5, 5.0 и 20.0 мг/дм³ имеет место увеличение накопления селена в белках на 15%, 228% и 106% относительно контрольных показателей. При концентрации селенита 10.0 мг/дм³ на 7-е сут наблюдали уменьшение содержания селена в белках хлореллы на 19% по сравнению с контролем.

Накопления селена липидами было достаточно активным на протяжении всего периода исследования. Внесение в среду микроэлемента в концентрациях 0.5, 5.0, 10.0 и 20.0 мг/дм³ на 3-и сут эксперимента вызывало увеличение его содержания в липидах *Ch. vulgaris* относительно контрольных показателей на 88, 50, 36 и 30% соответственно. Установлено, что на 7-е сут содержание селена в липидной фракции увеличилось на 106% при концентрации 0.5 мг/дм³; на 178% – при 10.0 мг/дм³; на 33% – при 20.0 мг/дм³ и уменьшилось на 5% при действии 5.0 мг/дм³ Se⁴⁺.

Таким образом, полученные результаты показали, что накопление селена в макромолекулярных органических соединениях *Ch. vulgaris* имеет временную и концентрационную зависимость. Включение селена в углеводную и белковую фракции клеток хлореллы характеризовалось высокой динамикой. Включение селена в липиды клеток *Ch. vulgaris* было прямо пропорциональным во времени и обратно пропорциональным по концентрации: содержание селена в этой фракции постоянно увеличивался в течение всего эксперимента, но его количество в липидах при малом содержании селенита в среде (0.5 мгSe⁴⁺/дм³) было выше, чем при уровне 20.0 мгSe⁴⁺/дм³ в среде культивирования. Это свидетельствует о разнообразии структурной и функциональной реакции белков, углеводов и липидов в ответ на присутствие дополнительного количества селена. Первые два класса соединений оказались более лабильными и динамичными относительно накопления селена, чем липиды, которые выполняют основную роль в депонировании селена в клетках *Ch. vulgaris*.

Боднар О.И., Вінярська Г.Б., Станіславчук Г.В., Грубінко В.В. Особливості накопичення сполук селену та їх біологічна роль у водоростей // Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія, 2013. Вип. 2(55). С. 94–107.

Вовк С.И. Исследование синтеза белков в тканях сельскохозяйственных животных (методические рекомендации) / С.И. Вовк, В.Г. Янович. Львов: УНИИ физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, 1988. 20 с.

Методы биохимических исследований (липидный и энергетический обмен): учебное пособие. Л.: ЛГУ, 1982. 273 с.

Филиппович Ю.Б., Егорова Т.А., Севастьянова Г.А. Практикум по общей биохимии. М.: Просвещение, 1975. 318 с.

Шкробот А.П., Шебаршина Ф.И. Спектрофотометрические методы анализа материалов. М.: Дом научно-техн. пропаганды, 1966. 56 с.

Fatoki O.S. Biomethylation in the natural environment. A review // S. Afr. J. Sci, 1997. V. 93, № 8. P. 366–368.

Wang Dazhi, Cheng Zhaodi, Li Shaojing, Gao Yahui Toxicity and accumulation of selenite in four microalgae // Chinese J. Oceanology & Limnology, 2003. 21, № 3. P. 280–285.

Zhi-Yong Li, Si-YuanGuo, Lin Li. Bioeffects of selenite on the growth of *Spirulina platensis* and its biotransformation // Bioresource Technology, 2003. 89. P. 171–176.

Е.Л. Воденева, А.Г. Охапкин, Н.А. Старцева
СОСТАВ И СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА РЕК ЮГА БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ В ПРЕДЕЛАХ
БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, г. Н.Новгород, Россия,
vodeneeva@mail.ru

E.L. Vodeneva, A.G. Okhapkin, N.A. Startseva
THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON IN RIVERS OF THE SOUTH BOREAL
ZONE WITHIN MIDDLE VOLGA BASIN

N.I. Lobachevsky Nizhniy Novgorod State University, Nizhniy Novgorod, Russia, vodeneeva@mail.ru

Анализ результатов многолетних исследований системы рек (восемнадцать водотоков различной протяженности), сток которых формируется в условиях Нижегородского низинного Заволжья (южная граница бореальной зоны), выявил основные закономерности реакции состава и структуры фитопланктона на комплекс абиотических факторов среды, основными из которых являются повышенные гумозность и кислотность вод на фоне средних или пониженных показателей минерализации. Несмотря на критические величины цветности (до 600 град. Pt-Co шкалы), встречающиеся в олигоацидных водотоках (рН 5.5–6.5) бореальной зоны, общее разнообразие альгофлоры исследованных речных экосистем оказалось высоким – всего зарегистрировано 1005 таксонов (из них зеленые – 38.7% общего состава, диатомовые – 29.0, эвгленовые – 15.0). Это определялось относительно малой антропогенной нарушенностью как водосбора, так и самих водотоков, не подверженных чрезмерной антропогенной трансформации на фоне высокого природного градиента лимитирующих факторов среды и биотопической неоднородности речных систем.

Низкая продуктивность фитопланктона (средняя за вегетационный период биомасса составила 0.1–2.2 г/м³, олиго-мезотрофия, реже выше) определялась недоступностью фосфора, несмотря на его избыточное количество (эвтрофия-гипертрофия) в высокоцветных, олиго- или мезоацидных водах, а также незначительным временем добегания вод (природные факторы). В устьевых участках, под влиянием подпора зарегулированной р. Волги и в реках с сельскохозяйственным водосбором продуктивность планктонных альгоценозов увеличивается до уровня мезоэвтрофных и эвтрофных вод (4.1–8.2 г/м³). Сезонная динамика биомассы фитопланктона чаще двухвершинная с преобладанием весеннего подъема, связанного со свойствами водосбора. Эвтрофирование и увеличение времени добегания в устьевых подпертых участках нивелировали своеобразие состава ценозообразующих видов, вызывали рост биомассы до уровня «цветения» в том числе и цианопрокариотами. В отличие от озерных, для речных систем показана определяющая роль морфометрических параметров (длина русла, площадь водосбора) и роль биогенов (общий фосфор и кремний).

Своеобразие фитопланктона поли- и ультраполигумозных водотоков заключалось в более пестром наборе доминантов – крупноклеточных и монадных форм водорослей с миксотрофным и голозойным типами питания (эвгленовые) или конъюгат. Роль этих групп в формировании продуктивности водотоков возрастала параллельно со снижением значения диатомовых.

На основе структурного анализа выделено восемь ценотических типов потамопланктона, смена которых по градиенту цветности происходила выше 160 град. с переходом от комплекса *Melosira varians* Ag. к типам с преобладанием *Trachelomonas*–

Euglena. В числе приоритетных факторов формирования ценотических типов пелагического планктона значались различная степень гумификации, минерализации и доступность ресурсной обеспеченности. Сравнительный анализ по типам водоемов в условиях минимизации антропогенных влияний (эвтрофикация, загрязнение, зарегулирование стока) продемонстрировал большую сложность структурной организации фитопланктона лотических водоемов (видовое разнообразие, выравненность, степень доминирования), в сравнении с лентическими. Это может быть связано с более сложной их биотопической организацией и отсутствием в большинстве водотоков экстремального влияния гумозности и кислотности среды в условиях постоянного горизонтального переноса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-04-00878).

В.А. Габышев

**СВЯЗЬ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОПЛАНКТОНА И ГИДРОЛОГО-
МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРУПНЫХ РЕК ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия, v.a.gabyshev@ibpc.yzn.ru

V.A. Gabyshev

**THE RELATIONSHIP BETWEEN DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON AND
HYDROLOGICAL AND MORPHOMETRICAL PARAMETERS OF LARGE EAST SIBERIAN RIVERS**

Institute for Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, Yakutsk, Russia, v.a.gabyshev@ibpc.yzn.ru

Материалом для публикации послужили сборы фитопланктона на 12 наиболее крупных реках Восточной Сибири: Лена, Вилюй, Колыма, Алдан, Оленек, Витим, Индигирка, Амга, Олекма, Анабар, Яна и Чара. Наблюдения проводились в 2002–2011 гг. в летнюю межень (июнь-август) в период максимальной вегетации фитопланктона.

Для выявления взаимосвязи между двумя наборами признаков, характеризующих размерные показатели фитопланктона и среду его обитания применен метод канонических корреляций (Аффифи, Эйзен, 1982). Применение многомерной модели анализа канонических величин позволяет также дискриминировать данные между несколькими априорными (эмпирически определенными) и скрытыми (латентными) группами наблюдений. Параметрами для анализа послужили два набора признаков. В набор признаков FITO включены четыре размерных показателя фитопланктона: доля мелкоклеточной фракции (размеры клеток равны или менее 50 мкм, по: Эрхард, Сежен, 1984) по численности и по биомассе, отношение биомасса/численность для каждой пробы и среднее арифметическое объема клетки в пробе. В набор признаков OKR_SRED вошли два морфометрических показателя: процент озерности и густота речной сети бассейна; четыре гидрологических показателя: средняя продолжительность отсутствия льда, прозрачность воды, температура воды, глубина и скорость течения; а также географические координаты пунктов наблюдений (градусы с.ш. и в.д.). В массив данных включено 303 наблюдения, по которым отсутствуют пропуски, недопустимые при статистической обработке данных. Для поиска латентных групп наблюдений проведена их кластеризация с использованием евклидова расстояния с применением алгоритма Варда, который обеспечивает минимальную вариацию расстояний в получаемых кластерах (Ким и др., 1989).

В результате кластеризации наблюдений выделено три кластера с наименьшей дисперсией межкластерного расстояния. Основываясь на значениях критерия Фишера, кластеризация наблюдений образована: различием географического положения (по широте) (F-критерий 426), и 2) гидрологическими особенностями – средней продолжительностью отсутствия льда (F-критерий 257). Следовательно, все три кластера хорошо разделены по средним значениям географической широты и про-

должительности отсутствия льда. Причем жесткость экологических условий по этим показателям возрастает от 1-го кластера к 3-му.

Число рассчитанных канонических коэффициентов корреляции, как известно, соответствует минимальному количеству признаков в одном из двух анализируемых наборов, и в данном случае составило четыре. Для первого (наиболее информативного) решения каноническая корреляция между признаками FITO и OKR_SRED, скорректированная на объем наблюдений, составила $R = 0,55$. Следовательно связь между ними не высока, однако она является статистически значимой, уровень ее значимости имеет значение $p < 0,0001$. Максимальный вес нормализованных коэффициентов канонической оси FITO1 имеет показатель среднего объема клетки (0,74); для оси OKR_SRED1 – продолжительность безледного периода (1,41) и географическая широта наблюдений (0,69).

Результат канонического анализа с классификацией наблюдений по трем кластерам окружающей среды показывает, что вдоль оси OKR_SRED1 кластеры расположены в соответствии с их географической широтой не смотря на то, что четкой локализации наблюдений в кластерах нет. Так, наблюдения 1-го «южного» кластера сконцентрированы преимущественно в области высоких значений вертикальной оси, т.е. там где безледный период продолжительнее. Напротив, 2-й и 3-й «северные» кластеры – в области низких значений, где средняя продолжительность отсутствия льда меньше. Наиболее интересно их расположение вдоль оси FITO1. Четких границ между наблюдениями отдельных кластеров нет. Однако, большая часть наблюдений 1-го «южного» кластера расположена в области положительных значений, а 2-го и 3-го «северных» - в области отрицательных значений. Следовательно, наблюдения, где средний объем клетки меньше, приурочены к областям с коротким безледным периодом на севере региона и наоборот.

Такой же вывод очевиден, если рассмотреть результат анализа, классифицированный по исследованным рекам. Наблюдения по самым северным рекам региона (Индиگیرка, Яна, Анабар и Оленек) локализованы в области низких значений оси FITO1, т. е. характеризуются меньшим объемом клеток. Наблюдения по рекам центральной и южной части региона, наоборот, локализованы преимущественно в области положительных значений данной канонической оси, где средний объем клетки больше.

Таким образом, размерная структура планктонных сообществ водорослей не обнаруживает статистической связи с морфометрическими показателями исследованных рек. Среди гидрологических показателей значимым является продолжительность периода отсутствия льда, причем этот параметр связан с другим значимым показателем – широтой наблюдений. Очевидно, что оба эти показателя характеризуют жесткость экологических условий района исследований. Результат канонического анализа свидетельствует, что средний объем клетки больше для наблюдений, локализованных на юге региона, где продолжительность безледного периода выше. Биологический смысл этого в том, что на севере региона, в суровых условиях короткого вегетационного периода селективное преимущество получают мелкоклеточные виды с высоким соотношением поверхность/объем и большей скоростью роста популяций, соответствующие классическому r -отбору.

Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.
Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
Эрхард Ж.-П., Сежен Ж. Планктон. Состав, экология, загрязнение. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 256с.

А.Ш. Гасанова, К.М. Гусейнов
ФИТОПЛАНКТОН РОССИЙСКОГО СЕКТОРА СРЕДНЕГО КАСПИЯ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский НЦ РАН, г. Махачкала, Россия,
kais61@mail.ru

A.Sh. Gasanova, K. M. Guseynov
PHYTOPLANKTON IN THE RUSSIAN SECTOR OF THE MID CASPIAN SEA IN
CURRENT CONDITIONS

Precaspian Institute of Biological Resources of Dagestan SC RAS, Makhachkala, kais61@mail.ru

В современной экосистеме Каспийского моря на всех уровнях организации большое значение имеют вселенцы, входящие в состав наиболее значимых групп водных биоценозов. Непостоянство уровня режима Каспия и неоднократные изменения его гидрологического и гидрохимического режимов в условиях замкнутого водоема способствовали низкому таксономическому разнообразию его флоры и фауны и, соответственно, недостаточной насыщенности аборигенных биоценозов, что, в совокупности с богатством Каспия биогенными элементами и отсутствием естественных хищников и паразитов, создают благоприятные условия для акклиматизации инвазийных видов.

Ярким примером инвазий служит аутакклиматизант 1934 г. крупноклеточная некормовая диатомовая микроводоросль *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G. Sundström, которая, вытеснив аборигенные ценные в кормовом отношении виды (главным образом, экологически близкий вид – *Rhizosolenia fragilissima* Bergon), быстро распространилась по Каспию и стала абсолютным круглогодичным доминантом. Одновременно произошло снижение количественных показателей *Prorocentrum cordatum* (Ostf.) Dodge (Бабаев, 1965, 1967, 1968, 1970; Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968; Каспийское море..., 1985; Санина и др., 2000).

В настоящее время планктонная альгофлора Каспия формируется в условиях трансгрессии моря и инвазии гребневика *Mnemiopsis leidy* (A. Agassiz). Прямым эффектом хищничества мнемииопсиса в Каспии стал зоопланктон, который за годы присутствия гребневика утратил свой традиционный летний максимум. В августе 2001 г. в западной части Среднего Каспия нами наблюдалось массовое развитие популяции мнемииопсиса, что привело к сокращению качественных и количественных показателей зоопланктона более чем на 90% (Гусейнов и др., 2005; Устарбеков и др., 2008). Вследствие выедания зоопланктона мнемииопсисом, в планктоне сохраняются кормовые мелкоклеточные водоросли, и регистрируются высокие количественные показатели фитопланктона. В 2001 г. средняя биомасса фитопланктона превышала 2 г/м³, достигая на отдельных станциях 16 г/м³.

Трофический пресс гребневика способствовал увеличению флористического разнообразия фитопланктона. В августе 2001 г. в акватории Среднего Каспия нами зарегистрирован 71 вид водорослей, в 2006 г. на прибрежных мелководьях российского сектора Каспийского моря – 58 видов, в 2007 г. в акватории западной части Северного Каспия – 73 вида. В 2008 г. в мористой части российского сектора Каспия обнаружено 87 видов и внутривидовых таксонов микроводорослей, в том числе: в западной части Северного Каспия – 51 вид, в российском секторе Среднего Каспия – 71 вид. За весь период наших исследований (2001-2008 гг.) в акватории российского сектора Каспия обнаружено 137 видов фитопланктона.

Многолетние данные по динамике популяции гребневика свидетельствуют о больших межгодовых различиях в ходе изменения его численности, биомассы и размерной структуры. В 2008 г., в акватории российского сектора Среднего Каспия наблюдалось значительное уменьшение количественных показателей гребневика, средняя биомасса которого, по сравнению с этим же периодом 2001 г., снизилась в 14,5 раз и составила 14,4 г/м³.

Снижение количественных показателей популяции гребневика в 2008г привело к уменьшению средней биомассы фитопланктона в 5,5 раза, при этом биомасса синезеленых водорослей снизилась в 478 раз. Одновременно наблюдалась смена доминирующих комплексов. По данным ВНОРО в летнем фитопланктоне западной части Среднего Каспия в «догребневиковый» период 1934–1986 г. (период максимальной плотности зоопланктона) по численности преобладали динофитовые водоросли, главным образом *Prorocentrum cordatum* (Ostf.) Dodge, основу биомассы составляла *Pseudosolenia calcar-avis* (M. Shultze) Sch. (Каспийское море...,1985).

В период наших исследований, аутакклиматизант 1934 г. *P. calcar-avis* не выдерживала конкуренции и встречалась в планктоне лишь на нескольких станциях северной зоны Среднего Каспия в начале июня 2001 г. В этой связи, сложившееся мнение о необычайной конкурентоспособности *P. calcar-avis* и ее угнетающем влиянии на другие виды фитопланктон, представляется не совсем обоснованным. Пик ее вегетации приходился на «догребневиковые» годы, характеризующиеся высокими количественными показателями зоопланктона (Каспийское море...,1985, Санина и др., 2000). *P. calcar-avis* является некормовым видом и зоопланктоном не выедаются, что позволило ей быстро распространиться по Каспию и стать абсолютным круглогодичным доминантом. Инвазийные виды 2001 г. (азово-черноморские вселенцы *Cerataulina pelagica* (Cl.) Hendeу, *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H. Peragallo) натурализовались в новом для них ареале и успешно конкурируют с автохтонными видами, достигая в отдельных частях российского сектора Каспия значительного развития и входя в доминирующие комплексы (Татаринцева, 1992, 2000). Это является дополнительным подтверждением неконкурентоспособности *P. calcar-avis*. Ренее, неконкурентоспособность *P. calcar-avis* отмечалась Карпинским (2010), мы полностью согласны с этим мнением.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 06-04-96634, № 09-04-96579 № 12-04-96513).

Бабаев Г.Б. О фитопланктоне западной части Среднего и Южного Каспия // Гидробиол. журн. 1965 Т.1. №6. С. 11–19.

Бабаев Г.Б. К изучению распределения фитопланктона западного побережья Среднего Каспия // Матер. научно-теоретической конф. молодых ученых. Баку: Изд-во АН АзССР. 1967. С. 185–188.

Бабаев Г.Б. Состав и распределение фитопланктона западной части Среднего и Южного Каспия: Автореф. дис. канд. биол. наук. Баку. 1968. 32 с.

Бабаев Г.Б. Характеристика систематического состава фитопланктона западной части Среднего и Южного Каспия // Изв. АН АзССР, Сер. Биология. 1970. Т.1. С. 70–72.

Гусейнов М.К., Османов М.М., Гусейнов К.М. Изменение структуры пелагической экосистемы дагестанского района Каспия под воздействием гребневика *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) // Океанология. 2005. Т.45. №1. С. 69–72.

Карпинский М.Г. *Pseudosolenia calcar-avis* (Bacillariophyta, Centrophyceae) в Каспии // Российский журн. биол. инвазий. 2010. № 1. С. 2–11.

Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность. М.: Наука, 1985. 290 с.

Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В. Водоросли планктона Каспийского моря. Л.: Наука. 1968. 292 с.

Санина Л.В., Левшакова В.Д., Татаренцева Т.А. Летний фитопланктон Среднего Каспия в период подъема уровня моря в сравнении с предыдущими годами // Морские гидробиологические исследования. М.: ВНИРО. 2000. С. 38–48.

Татаринцева Т.А. Нахождение нового в Каспийском море вида *Nitzschia seriata* Cleve (Bacillariophyta) // Биологич. науки. 1992. №6. С. 55-57.

Татаринцева Т.А. Состояние фитопланктона Среднего Каспия в современных условиях. Современные проблемы альгологии. Материалы международной научной конф. Ростов - на- Дону. 2008. С. 252–254.

Устарбеков А.К., Гусейнов К.М., Гасанова А.Ш. Донные сообщества дагестанского побережья Каспия в условиях трансгрессии моря и инвазии гребневика *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz). // Юг России: экология, развитие. 2008. №2. С. 99–101.

А.О. Гаязова
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ МАССОВЫХ ВИДОВ СИНЕЗЕЛЕННЫХ
ВОДОРΟΣЛЕЙ И ФАКТОРОВ СРЕДЫ

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия, why.ann@mail.ru

A.O. Gayazova
STUDY OF CONNECTION BETWEEN DOMINANT BLUE-GREEN ALGAE SPECIES' SEASONAL
ABUNDANCE AND DYNAMICS OF SOME ENVIRONMENTAL FACTORS

South-Ural State University, Chelyabinsk, Russia, why.ann@mail.ru

Всплески численности водорослей в морских и пресноводных экосистемах представляют на сегодняшний день очевидную проблему мирового масштаба (Rodriguez-Benito et. al., 2004; Marsili-Libelli et. al., 2004, Oh. et. al., 2007). В частности, для Шершневого водохранилища, источника питьевого водоснабжения г. Челябинска, характерны значительные межгодовые, сезонные и краткосрочные колебания численности *Aphanizomenon flos-aquae* (Lemm.) Ralf. и других доминирующих видов синезеленых водорослей, которые приводят к технологическим сбоям и экономическим издержкам и негативно влияют на качество воды. Массовое развитие водорослей связано с рядом факторов среды (Кравчук, 2004). Выявление значимых факторов представляется важным этапом на пути возможного прогнозирования таких неблагоприятных явлений с целью минимизации негативных эффектов от их проявления. В работе представлены результаты математического анализа связей с факторами среды развития синезеленых водорослей *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa* в Шершневском водохранилище, *M. aeruginosa* Kütz в бессточном оз. Смолино.

Наблюдения в прибрежной части оз. Смолино проведены автором в летне-осенний период 2009 и 2011 гг. Одновременно с отбором проб фитопланктона определяли гидрохимические показатели (рН, минерализацию, концентрацию нитрат-ионов и фосфат-ионов), фиксировали локальные гидрометеорологические условия (скорость ветра по шкале Бофорта, балл облачности, температуру воды). В результате наблюдений были получены ряды данных за 138–159 дней с разрешением во времени от 2 до 7 дней. Для удобства математического анализа из исходных нерегулярных рядов посредством кусочно-линейной интерполяции получены регулярные временные серии с разрешением в один день. Поскольку различные данные имеют широкий диапазон изменений, предварительно проведено масштабирование рядов с нормированием значений на максимальную величину ряда. Для оценки наличия связей между численностью водорослей и факторами среды произведен кросс-корреляционный анализ временных рядов, предварительно избавленных от смещения путем вычитания трехточечного скользящего среднего с равными весами согласно общепринятым методам обработки временных рядов экологических данных (Розенберг и др., 1994). Найдено, что динамика численности *Microcystis aeruginosa* в 2009 г. относительно тесно связана с двумя факторами. Первый фактор – численность водоросли *Pediastrum duplex* Meyen с коэффициентом кросс-корреляции $k \approx 0.9$ при временном сдвиге между рядами на шесть дней. Второй значимый фактор – минерализация воды со значением $k \approx 0.6$ при нулевом временном сдвиге. Анализ связей между численностью *M. aeruginosa* и факторами среды в 2011 г. показал, что для этой выборки характерны высокие корреляции ($k \approx 0.6$) численности водоросли с концентрацией нитрат-иона, температурой воды и численностью *P. duplex* с различными временными сдвигами от 20 до 23 дней.

При исследовании массового развития синезеленых водорослей в Шершневском водохранилище использованы данные за период открытой воды 2012–2013 гг., предоставленные санитарной лабораторной службой МУП "Производственное объединение водоснабжения и водоотведения" г. Челябинска. Анализировали данные по численности массовых видов фитопланктона, получаемые с частотой 1–5 раз в неделю, и абиотические факторы (уровень водохранилища, температура воды и

воздуха, мутность, цветность, щелочность, рН), полученные с разрешением во времени в 1 день. Для корректности анализа применили процедуры предварительной обработки, описанные выше, в частности – интерполяцию гидробиологических данных, имеющих не такое высокое разрешение во времени, как другие параметры.

В результате кросс-корреляционного анализа временных серий показано, что динамика численности *Microcystis aeruginosa* в 2012 г. была довольно тесно связана с динамикой следующих факторов среды: температура воды ($k \approx 0.8$ при временном сдвиге на 16–20 дней), температура воздуха ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 34–35 дней), мутность ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 6 дней), рН ($k \approx 0.8$ при сдвиге на 22 дня), а также – с численностью *Aphanizomenon flos-aquae* ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 22 дня). В 2013 г. картина изменилась, и кросс-корреляционный анализ позволил выделить связь динамики *M. aeruginosa* с динамикой следующих факторов: температура воды ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 33 дня), температура воздуха ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 43 дня), мутность ($k \approx 0.6$ при сдвиге на 17 дней), цветность ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 14 дней), численность *A. flos-aquae* ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 11 дней).

Для *Aphanizomenon flos-aquae* в 2012 г. были выделены следующие факторы: мутность ($k \approx 0.7$ при временном сдвиге на -2 дня), рН ($k \approx 0.7$ при сдвиге на -2 дня). В 2013 г. численность *A. flos-aquae* была связана с температурой воды ($k \approx 0.7$ при сдвиге температуры на 27–28 дней), температурой воздуха ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 32 дня), мутностью ($k \approx 0.7$ при временном сдвиге на -1 день), цветностью ($k \approx 0.7$ при сдвиге на 0 дней).

Связь численности *Microcystis aeruginosa* с численностью *Pediastrum duplex*, можно объяснять по-разному, но наиболее вероятное, на наш взгляд, объяснение – предпочтение этими водорослями различных форм азота (Сиренко, 1972). Связь динамики численности рассматриваемых видов водорослей с цветностью и рН, вероятно, обусловлена тем, что при их массовом развитии увеличиваются значения рН и цветность воды (Сиренко, 1972; Вассер и др., 1989). Связь температуры с численностью *M. aeruginosa* согласуется с литературными данными о том, что синезеленые водоросли чувствительны к температуре на ранних этапах развития: в фазу, предшествующую логарифмическому росту, и в фазу логарифмического роста (Сиренко, 1972).

Таким образом, с помощью кросс-корреляционного анализа были выделены факторы, с которыми связана динамика численности *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa*. В качестве возможных предикторов для прогноза массового развития синезеленых водорослей (главным образом *Microcystis aeruginosa*) в первую очередь следует выделить численность *Pediastrum duplex* и температуру воды.

Водоросли. Справочник / Под ред. С.П. Вассера, Н.В. Кондратьевой, Н.П. Масюк и др. Киев : Наукова Думка, 1989. 608 с.

Кравчук Е.С. Эколого-физиологические аспекты «цветения» воды синезелеными водорослями в двух разнотипных водохранилищах: Район Красноярска. Автореф. дис. ... канд. биол. наук: Борок, 2004. 21 с.

Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусиловский П.М. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 182 с.

Сиренко Л.А. Физиологические основы размножения синезеленых водорослей в водохранилищах. Киев: Наукова думка, 1972. 203 с.

Marsili-Libelli S. Fuzzy prediction of the algal blooms in the Orbetello Lagoon / S. Marsili-Libelli, G. Pacini, C. Barresi // Environmental Modeling & Software 19, 2004. P. 799–808.

Oh H.-M. Community patterning and identification of predominant factors in algal bloom in Daechung Reservoir (Korea) using artificial neural networks / H.-M. Oh, Ch.-Y. Ahn, J.-W. Lee, T.-S. Chon, K. H. Choi, Y.-S. Park // Ecological modeling. 2007. V. 203. P. 109–118.

Rodriguez-Benito C. Implementation of new technologies to monitor phytoplankton blooms in the south Chile / C. Rodriguez-Benito, C. Haag, A. Alvial // Proceedings of the First Intern. Meris User Workshop, Frascati, Italy, 10-13 Nov. 2003. ESA SP-549. May 2004.

М.Ю. Горбунов
ХЛОРОФИЛЛ *D* В СЕСТОНЕ ОЗЕР БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ:
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПИГМЕНТ, ПРОДУКТ РАЗЛОЖЕНИЯ ИЛИ ОШИБКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ?
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, myugor@pochta.ru
M.Yu. Gorbunov
CHLOROPHYLL *D* IN SESTON OF LAKES IN THE MID VOLGA BASIN:
PHOTOSYNTHETIC PIGMENT, OR DEGRADATION PRODUCT, OR DETERMINATION ERROR?
Institute of Ecology of Volga Basin RAS, Togliatti, Russia, myugor@pochta.ru

Хлорофилл *d* (Хл *d*), имеющий "красный" максимум поглощения при 690–696 нм, т.е. в области больших длин волн, чем остальные хлорофиллы, был обнаружен еще в 1940-х гг. в экстрактах красных водорослей. Однако только в 1993 г. был обнаружен синтезирующий этот пигмент организм – морская цианобактерия *Acaryochloris marina* Miyashita et Chihara 2003, нативный максимум поглощения которой расположен при длине волны 710–720 нм. К настоящему времени выделено еще несколько штаммов этого вида, в том числе эпифиты красных водорослей, а недавно была описана еще одна морская цианобактерия, которая содержит другой, еще более "длинноволновой" хлорофилл, названный Хлом *f*.

В 2008 г. Кашияма с соавторами показали, что Хл *d* обнаруживается не только в перифитоне и тканях морских беспозвоночных, но и в морском планктоне, и, самое главное, в донных отложениях пресных озер (Kashiyama et al., 2008). Однако с тех пор не появилось никакой новой информации о пресноводных видах цианобактерий, синтезирующих этот хлорофилл.

Acaryochloris marina и другие родственные ей морские фототрофные организмы, синтезирующие "длинноволновые" хлорофиллы, видимо, занимают специфическую экологическую нишу, характеризующуюся сильным затенением Хл *a* содержащими фототрофами (Kuhl et al., 2005). Так, развитие *A. marina* в асцидиях регистрируется в нижней части тела, под мантийной полостью, заселенной Хл-*a* содержащими цианобактериями; эпифитные Хл-*d* содержащие цианобактерии растут на нижней стороне талломов красных водорослей или эндоцитно под талломами накипных форм.

Можно предполагать, что в пресных водах Хл-*d* содержащие цианобактерии занимают экологические ниши, аналогичные морским/океаническим. В частности, можно ожидать, что они будут получать существенные экологические преимущества по сравнению с "обычными" видами фитопланктона в условиях высокогумозных озер и болот, в которых высокая цветность воды приводит к поглощению в узком поверхностном слое практически всего видимого света, кроме света дальней красной области, а также в средних слоях аэробных цианобактериальных матов, под слоем типичных цианобактерий, и, возможно, в аэробной части зоны хемоклина отдельных стратифицированных озер.

При пигментном анализе проб из пресных озер бассейна Средней Волги мы во многих случаях регистрировали повышенное поглощение света в области максимума Хл *d*. На спектрах пигментных экстрактов это избыточное поглощение проявляется в виде плеча или минорного максимума при 690-695 нм. Расчет концентраций хлорофиллов по формулам Ritchie (2008) показывает присутствие Хл *d* в концентрациях от долей процента до десятков процентов от содержания Хл *a*. Наибольшие относительные концентрации отмечаются в пробах из некоторых озер с высокой цветностью воды, где его относительное содержание часто увеличивается до 6–10%. Недавно при исследовании двух озер на территории республики Марий Эл, оз. Кузнечиха и оз. Паленое, расчеты показали еще большее относительное содержание Хл *d* в пробах из верхней границы металимниона/хемоклина – до 43% от содержания Хл *a*. Такое распределение Хл *d* вполне соответствует высказанной выше гипотезе об экологической нише Хл-*d* содержащих фототрофов в пресных водоемах.

Однако при более тщательном анализе состава всего массива пигментных проб выяснилось, что рассчитанное относительное содержание Хл *d* тесно коррелирует со степенью феофитинизации хлорофилла *a* в пробах. Поэтому, возможно, что обнаруживаемое избыточное поглощение в диапазоне длин волн 685–700 нм может быть связано с присутствием каких-либо продуктов деструкции хлорофиллов, а не с Хл *d*, синтезированным какими-либо фототрофами. Известно, например, что при длительном состаривании культур некоторых видов водорослей образуется заметное количество пурпурин-18-фитильного эфира, продукта окисления феофитина *a*, имеющего максимум поглощения при 696–698 нм. Действительно, во многих пробах избыточное поглощение в области 692 нм очень слабо снижалось при подкислении проб, в условиях, когда хлорофиллы подвергаются феофитинизации. Таким образом, определенная часть этого поглощения, видимо, связана не с Хл *d*, а с продуктами деструкции хлорофиллов, в т.ч., вероятно, пурпурином-18 и феофитином *d*.

Тем не менее, анализ спектральных изменений при подкислении проб с избыточным поглощением в области 690–695 нм показывает, что в них всегда присутствует какое-то количество пигмента, поглощение которого при 692 нм снижается при подкислении – т.е., предположительно, Хл *d*. В последнее время, однако, стало известно, что и сам Хл *d* может образовываться при деградации хлорофилла *a*, а именно при неферментативном окислении хлорофилла *a* в присутствии пероксидов или пероксидазы. Это не позволяет во всех случаях идентифицировать регистрируемый в сестоне пресных водоемов Хл *d* как функционирующий фотосинтетический пигмент какого-то вида фитопланктона, но и не исключает такую возможность.

В 2013 г. мы сделали попытку выделить чистые или накопительные культуры организмов, содержащих Хл *d* из озер Паленое и Кузнечиха, однако она не привела к успеху. Тем не менее, с учетом повсеместного распространения Хл-*d* содержащих цианобактерий в океанах, полное отсутствие аналогичных организмов в пресных водах представляется маловероятным. Если пресноводные цианобактерии, содержащие "длинноволновые" хлорофиллы, действительно существуют, то их обнаружение расширит наши знания о разнообразии и эволюции цианобактерий и, возможно, поможет прояснить неясные аспекты эволюции процесса кислородного фотосинтеза "растительного типа".

Kashiyama Y. et al. Evidence of global chlorophyll *d* // Science 2008. V.321. P. 658.

Kuhl M. et al. A niche for cyanobacteria containing chlorophyll *d* // Nature. 2005. V. 433, No 7028. P. 820–820.

Ritchie R.J. Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls *a*, *b*, *c*, and *d* and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. // Photosynthetica, 2008. V.46, No 1. P.115–126.

Д.Б. Денисов

АЛЬГОЦЕНОЗЫ КОЛЬСКОЙ СУБАРКТИКИ В МЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ СРЕДЫ

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, Россия,
denisow@inep.ksc.ru

D.B. Denisov

ALGOCENOSES OF THE KOLA SUBARCTIC UNDER ENVIRONMENTAL CHANGES

Institute of the North environmental industrial problems, Kola SCr RAS, Apatity, Russia,
denisow@inep.ksc.ru

Кольский Север является одним из ключевых регионов в исследованиях локальных и глобальных преобразований окружающей среды и климата. Субарктические пресноводные экосистемы наиболее чувствительны к различным видам воздействия. Долговременное многофакторное антропогенное воздействие, включая промышленное загрязнение и нарушение естественных геолого-гидрохимических циклов, в настоящее время привело к дефициту качественных пресных вод; под уг-

розой находятся запасы питьевой воды и ценные виды гидробионтов. Водорослевые сообщества, находящиеся в самом начале цепей питания, в условиях подобных изменений являются наиболее удобным биоиндикатором. Спецификой альгоценозов высоких широт является способность вегетировать при малом содержании элементов биогенного питания (нитратов и фосфатов), а также их адаптационные механизмы, позволяющие максимально эффективно использовать благоприятные для развития периоды в течение сравнительно короткого гидробиологического лета.

Многолетние исследования (2003–2013 гг.) альгоценозов разнотипных водных объектов Кольской Субарктики позволили заключить, что в последние десятилетия значимые изменения в функционировании и структурной организации экосистем вызваны не только долговременным промышленным загрязнением, но и являются реакцией на глобальные и локальные изменения климата (Денисов и др., 2009). Климатические изменения в сторону более мягкого, океанического климата, многократно усиливают процессы эвтрофирования, что в некоторых водоемах с мезотрофным (и близким к нему) трофическим статусом проявляется в массовом развитии синезеленых водорослей в летний период.

В последнее десятилетие увеличиваются как средние значения биомассы фитопланктона (для оз. Имандра), так и диапазон значений – появляется больше экстремальных (озерно-речная система Пасвик). На примере оз. Имандра показано, что синезеленые водоросли, вызывающие «цветение» воды (*Dolichospermum lemmermannii* (Rictor) Wack., Hoff. & Komarek; *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault; *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz.) практически не выедаются зоопланктоном и, вероятно, угнетают развитие других групп водорослей. В эти периоды в последние годы наблюдается массовая гибель молоди рыб, включая ценные промысловые виды (Денисов, 2010, 2011).

Установлено, что «цветение» воды в оз. Имандра чаще всего наблюдается во время штиля, ему предшествуют сравнительно высокие температуры воздуха, массовое развитие цианопрокариот приурочено к заливам и губам, куда формирующуюся у поверхности пленку водорослей сгоняет небольшим ветром. Очевидно, эти явления реализуются, преимущественно, при благоприятном сочетании метеорологических и гидролого-гидрохимических условий, наряду с достаточным количеством биогенных элементов. Достоверной связи численности синезеленых водорослей с содержанием биогенных элементов не выявлено, в то время как участки акватории, где наблюдалось цветение синезеленых водорослей, приурочены к зонам распространения стоков апатитового производства. В настоящее время явления массового развития цианей характеризуются рядом специфических черт. Во-первых, они ограничены сравнительно изолированными участками акватории озера, и не распространяются на открытые водные пространства. Во-вторых, формирование плотных скоплений водорослей отчасти обусловлено легким ветром, направленным в сторону залива (губы), с последующим штилем. В-третьих, явление локального «цветения» не всегда сопровождается высокой долей синезеленых водорослей в составе фитопланктона, развивающегося в толще воды и на открытых участках акватории.

Искусственные колебания уровня воды, не синхронизированные с естественной динамикой, привели к существенным нарушениям в функционировании литоральных экосистем, а в некоторых случаях к полному исчезновению литоральных сообществ организмов. Выпадение такого важного структурно-функционального элемента из экосистемы озера приводит к изменениям циклов биогенных элементов, сокращению нерестовых площадей, исчезновению многих литоральных организмов, в том числе и кормовых объектов для ценных представителей ихтиофауны – нарушаются условия для естественного воспроизводства рыб, в первую очередь сиговых и лосося.

Изменения в сообществах фитоперифитона водоемов Кольского Севера также

демонстрирует глобальный масштаб происходящих изменений. Обнаружен (2013 г) феномен массового развития диатомовой водоросли *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) Schmidt в литоральной части водохранилища Янискоски и мелководных участках реки Пасвик ниже плотины. Подобные явления получили название «Didymo (Rock Snot)» и в последние десятилетия были зарегистрированы по всему миру, включая Новую Зеландию, Канаду, США. Водорослевые маты формируют значительные объемы биомассы, изменяя существующие трофические сети, вызывают перестройки в структуре и количественных характеристиках бентосных сообществ, меняют привычное местообитание ценных пород рыб.

Таким образом, водорослевые сообщества демонстрируют изменения в структурно-функциональной организации водных экосистем Кольского Севера в глобальном масштабе. Были существенно расширены знания о видовом составе и структуре сообществ, что позволило сделать выводы о степени и характере происходящих изменений. В последние годы действие антропогенных факторов, очевидно, было усилено изменениями регионального и глобального климата, что повлекло за собой резкие и кратковременные сезонных изменения, в частности, массовое развитие отдельных видов. В составе альгоценозов увеличилась доля синезеленых водорослей, включая и потенциально токсичные формы. В водоемах «фоновых» районов в настоящее время сохраняется типично «субарктический» облик альгофлоры, с некоторыми признаками повышения трофического статуса, что также может являться следствием динамики климатической системы.

Денисов Д.Б. Явления массового развития водорослей в разнотипных пресноводных водоемах Кольского полуострова как результат глобальных преобразований окружающей среды // Глобальные климатические процессы и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов: Тез. докл. Междунар. науч. конф. Мурманск: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2011. С. 45–47.

Денисов Д.Б. Экологические особенности водорослевых сообществ разнотипных субарктических водоемов // Вестник Кольского НЦ РАН. 2010. №1. С. 48–55.

Денисов Д.Б., Кашулин Н.А., Терентьев П.М., Валькова С.А. Современные тенденции изменения биоты пресноводных экосистем Мурманской области // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, №3. С. 525 – 538.

Т. В. Еремкина

ФИТОПЛАНКТОН ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕГО УРАЛА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Уральский НИИ водных биоресурсов и аквакультуры, г. Екатеринбург, Россия, tver60@mail.ru

T.V. Eremkina

PHYTOPLANKTON IN THE RESERVOIRS OF THE MIDDLE URALS IN MODERN CONDITIONS

Ural Institute of Water Biological Facility, Ekaterinburg, Russia, tver60@mail.ru

Создание водохранилищ на Среднем Урале, начавшееся в XVIII в. и обеспечившее регулирование неравномерного и низкого по своей величине минимального стока большинства уральских рек, обеспечило развитие горнорудной промышленности и крупных городов на территории Свердловской обл. К настоящему времени на реках области насчитывается 134 водохранилища, семь из которых имеют объем более 100 млн м³ (Водные ресурсы, 2004). Водоохранилища используются в качестве источников хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, рыбохозяйственных и рекреационных водных объектов. Большинство водоемов имеет комплексное назначение. Характерной особенностью регулирования речного стока Свердловской обл. является каскадное расположение водохранилищ. Изучение альгофлоры водохранилищ, начатое в 1960-е годы, до настоящего времени имеет спорадический характер и выполняется в рамках рыбохозяйственных исследований, либо работ, связанных с установлением причин ухудшения качества воды источников водоснабжения.

На основе оригинальных (2002–2013 гг.) и литературных данных (Васильчикова и др., 1989; Васина, Ярушина, 1984; Чеботина и др., 2002; Ярушина и др., 2003) нами

проанализированы и обобщены материалы исследований девяти крупных водохранилищ Среднего Урала (Белоярского – источника технического водоснабжения Белоярской АЭС, Верхне-Выйского на р. Тагил и Черноисточинского – источников водоснабжения г. Нижний Тагил, Верхне-Выйского и Нижне-Выйского на р. Выя – источников водоснабжения г. Качканара, Исетского – водоема-охладителя Среднеуральской ГРЭС, Нижне-Тагильского – источника технического водоснабжения предприятий г. Нижний Тагил, Нижне-Туринского – источника водоснабжения г. Нижняя Тура и водоема-охладителя Нижне-Туринской ГРЭС, Рефтинского – водоема-охладителя Рефтинской ГРЭС).

Общий флористический список водорослей планктона исследуемых водохранилищ к настоящему времени включает 651 вид, разновидность и форму, относящихся к 8 отделам: зеленые – 259 (39.8 % общей флоры), диатомовые – 175 (26.9 %), эвгленовые – 77 (11.8 %), синезеленые – 67 (10.3 %), золотистые – 37 (5.6 %), динофитовые – 18 (2.8 %), криптофитовые – 9 (1.4 %), желтозеленые – 9 (1.4 %). Разнообразие альгофлоры исследуемых водоемов оказалось более высоким, чем фитопланктона водохранилищ Челябинской обл. (Ярушина и др., 2004). Отличительной особенностью водохранилищ Свердловской обл. является значительный вклад во флору эвгленовых водорослей, занимающих третье место по разнообразию.

За многолетний период выявлено существенное увеличение общего видового богатства фитопланктона (по сравнению с 1980-ми гг. – более чем в два раза). При этом пропорции флор водохранилищ изменяются за счет постепенного уменьшения роли диатомовых водорослей, что отмечалось ранее для волжских водохранилищ (Охупкин, 1997), и увеличения относительного видового богатства представителей порядка *Euglenales*, что связано с процессами антропогенного эвтрофирования и заболоченностью водосборов большинства среднеуральских водоемов. В число десяти «ведущих» по флористическому разнообразию родов вошли *Trachelomonas* (5.2 % в планктоне исследуемых водоемов), *Desmodesmus* (3.8), *Cosmarium* (2.9), *Nitzschia* (2.6), *Navicula* (2.5), *Closterium* (2.3), *Euglena* (2.0), *Phacus* (1.8), *Chlamydomonas* (1.8), *Mallomonas* (1.8). Общий состав родового спектра совпадает с таковым для водохранилищ Нижней Волги и ее низовья (Фитопланктон..., 2003), за исключением рода *Mallomonas*. Отличается и структура спектра, в котором, в отличие волжских водохранилищ, ведущие позиции занимают не диатомовые, а эвгленовые и зеленые водоросли.

Дальнейшее повышение трофического статуса водоемов Среднего и Южного Урала, отмеченное нами ранее (Еремкина, Ярушина, 2011), сопровождается не только увеличением общей численности и биомассы фитопланктона, но и последовательной сменой планктонных сообществ. Так, в Исетском водохранилище численность водорослей в 2000-е гг. увеличилась почти в 10 раз по сравнению с 1960-ми, но существенного изменения средней биомассы не произошло (1966 г. – 4.8 г/м³, 2013 г. – 7.3 г/м³). При этом входивших в состав доминирующего комплекса в 1980-е гг. *Anabaena scheremetievi* Elenk., *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom. (Васина, Ярушина, 1984) в настоящее время сменили *Lyngbya limnetica* Lemm., *Oscillatoria planktonica* Wolosz. in Geitler, *Microcystis wesenbergii* (Kom.) Kom. in Kondrateva. В центральной части Белоярского водохранилища отмечается увеличение максимальной биомассы летнего фитопланктона, достигшей в августе 2013 г. 260 г/м³. Кроме *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend Elenk., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Bergh. и других видов, входивших ранее в состав доминирующего комплекса, в последние годы среди видов-доминантов отмечены нитчатая синезеленая водоросль *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom., а также представители зеленых водорослей *Desmodesmus communis* (Hegew.) Hegew. и *Staurastrum gracile* Ralfs. В отличие от 1980-х гг., в настоящее время в верховьях водохранилища веду-

щая роль в формировании биомассы и численности фитопланктона принадлежит представителю диатомовых *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. et Grun., а в приплотинной части водоема в августе-сентябре наравне с *M. aeruginosa* доминирует *M. wesenbergii*, ранее среди доминантов не отмеченный.

Таким образом, изучение фитопланктона позволяет определить общие черты региональной флоры и выявить особенности формирования альгологического режима водохранилищ Среднего Урала, находящихся на разных стадиях развития.

Васильчикова А.П., Попов А.Н., Бердышева Г.В. Фитопланктон как показатель качества воды водохранилищ-охладителей на Урале // Гидробиологическая характеристика водоемов Урала. Свердловск, 1989. С. 13–22.

Васина М.Н., Ярушина М.И. Экологическая характеристика Исетского водохранилища // Сб. науч. тр./ ГосНИОРХ. 1984. Вып. 2012: Рыбохозяйственное освоение водоемов Урала. С. 61–68.

Водные ресурсы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. 432 с.

Еремкина Т.В., Ярушина М.И. Фитопланктон как показатель загрязнения водоемов Среднего и Южного Урала // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: Сборник тез. докл. II Международ. конф.. СПб., 2011. С. 69.

Охалкин А.Г. Таксономическая структура фитопланктона как показатель стадии сукцессии равнинных водохранилищ // Ботан. журн. 1997. № 1. Т. 82. С. 46–54.

Фитопланктон Нижней Волги. Водоохранилища и низовье реки. СПб.: Наука, 2003. 232 с.

Чеботина М.Я., Гусева В.П., Трапезников А.В. Планктон и его роль в миграции радионуклидов в водоеме-охладителе АЭС. Екатеринбург, 2002. 172 с.

Ярушина М.И., Гусева В.П., Чеботина М.Я. Видовой состав и экологическая характеристика водорослей водоема-охладителя Белоярской АЭС // Экология. 2003. № 1. С. 23–29.

Ярушина М.И., Танаева Г.В., Еремкина Т.В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН. 2004. 308 с.

Л.В. Ильяш, Т.А. Белевич, Л.С. Житина, И.Г. Радченко

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ – ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ СТРУКТУРУ, ОБИЛИЕ И ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОРСКОГО ФИТОПЛАНКТОНА

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия, ilyashl@mail.ru

L.V. Ilyash, T.A. Belevich, L.S. Zhitina, I.G. Radchenko

HYDROPHYSICAL CONDITIONS – FACTOR DETERMINED OF STRUCTURE, BIOMASS AND VERTICAL DISTRIBUTION OF MARINE PHYTOPLANKTON

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, ilyashl@mail.ru

Пространственно-временная неоднородность планктонных сообществ, включая фито-, зоо- и ихтиопланктон, в значительной степени обусловлена гидрофизическими условиями. Зависимость обилия и структуры фитопланктона от характера стратификации водного столба, горизонтальной термохалинной структурированности вод, наличия фронтальных зон, круговоротов, линз и др. показана для многих морей. Гидрологическому режиму каждой морской акватории присущи свои характерные черты, которые в первую очередь определяются водообменом с соседними акваториями, топографией береговой линии, рельефом дна, речным стоком и господствующими ветрами. Все эти факторы определяют специфику основных механизмов формирования пространственной неоднородности фитопланктона в каждом водоеме.

В качестве примера предлагается рассмотреть Белое море, которое с точки зрения гидродинамики является одним из уникальнейших водоемов. В нем присутствуют практически все физические явления, существующие в Мировом океане: сильные течения, районы с выраженной горизонтальной термохалинной структурированностью вод (при полной вертикальной однородности градиенты характеристик имеют горизонтальную направленность) и районы с выраженной вертикальной термохалинной структурой вод, структурные фронтальные зоны, соленостные фронты, мощный речной сток, трансфронтальный перенос, межслойные перемещения вод, высокие приливы, апвеллинги разного генезиса и др. Следует подчеркнуть еще один

важный момент. Сезонная и межгодовая изменчивость положения фронтальных зон, направлений межслойных перемещений и других динамических процессов предопределяет изменение характера пространственного распределения фитопланктона в разные сезоны и разные годы, т.е. следует говорить о пространственно-временной вариабельности распределения видового состава, набора доминирующих водорослей и обилия фитопланктона.

Проанализировано пространственное распределение фитопланктона по данным пяти комплексных съемок, охватывающих разные районы моря: 17–18 августа 2004 г., 26 августа – 3 сентября 2007 г., 20 июня – июля 2008 г., 6–9 июля 2009 г., 17–26 июня 2012 г. В ходе каждой съемки по данным вертикального зондирования столба воды (температура, соленость, плотность) на исследованных акваториях выделены воды, различающиеся по структуре: перемешанные воды (ПВ), стратифицированные воды (СВ), интрузии перемешанных вод Горла в стратифицированные воды Бассейна и др.

В целом, различия в гидрофизических условиях в разных акваториях моря проявляются в структуре и обилии фитопланктона. В ходе каждой съемки на исследованных акваториях вегетировало несколько различающихся по структуре сообществ фитопланктона. Отдельные сообщества фитопланктона могли быть приурочены к определенному типу вод (ПВ или СВ), или одно и то же сообщество вегетировало как в ПВ, так и СВ. Количественные показатели фитопланктона, приуроченных к разным типам вод могли различаться или быть сходными. Смена сообществ могла происходить в разных масштабах пространства: от нескольких км до сотен километров. Значимые факторы (механизмы), обуславливающие разграничение сообществ в пространстве: структурные фронтальные зоны, соленостные фронтальные зоны, приливные фронтальные зоны, стоковые течения, интрузии.

В пределах акватории вегетации одного сообщества биомасса фитопланктона существенно различается. Наибольшая биомасса планктонных водорослей, как правило, приурочена к динамически активным зонам, таким, например, как фронтальные зоны разного генезиса, зона трансформации промежуточных вод Бассейна при их подъеме вдоль склона в вершине Двинского залива, периферия стокового течения Северной Двины и Онеги, в интрузиях перемешанных вод Горла в Бассейн. В примерно одни и те же календарные сроки, но в разные годы на акватории моря вегетируют различающиеся по структуре и обилию сообщества фитопланктона. Межгодовая вариабельность, по-видимому, обусловлена климатическими факторами.

А.В. Котовщikov

СТОК ФИТОПЛАНКТОНА ВЕРХНЕЙ ОБИ В РАЗНЫЕ ПО ВОДНОСТИ ГОДЫ

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, kotovschikov@iwep.ru

A.V. Kotovshchikov

PHYTOPLANKTON DISCHARGE IN UPPER OB RIVER IN DIFFERENT WATER CONTENT YEARS

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia, kotovschikov@iwep.ru

Изучение биологической продуктивности планктона лотических экосистем определяет необходимость количественного учета непрерывного переноса образованной биомассы. Содержание фитопланктона (или хлорофилла *a*) в единице объема речной воды не дает полного представления об уровне и динамике развития автотрофного звена. Важно учитывать еще и сток организмов, т.е. их количество (массу), проходящее через данное сечение реки в единицу времени.

Река Обь на участке у г. Барнаула характеризуется как типично равнинная; уклоны дна изменяются в пределах 0.07–0.11 ‰. Средний многолетний водный сток (км³/год) – 46.6, наибольший – 72.5, наименьший – 32.2 (Ресурсы ... , 2011). Скорость течения в период осенней межени составляет 0.7–1.0 м/с, возрастая во время половодья до 1.5 м/с. Пойма значительно развита и представляет собой заболоченную

равнину, расчлененную протоками и старицами. В период весеннего половодья пойма почти ежегодно заливается водой. Ледостав на данном участке длится в среднем около 5 месяцев (с 10 ноября до 15 апреля).

Первые исследования стока фитопланктона р. Обь в верхнем течении были выполнены в 1962 г. и после этого проводились только в устье реки (Солоневская, 1964, 1966; Семенова и др., 1989). Из рек бассейна Оби годовой фитосток был посчитан для р. Урюп (бассейн р. Чулым) (Чайковская, 1983). Известны работы, посвященные планктостоку водорослей среднего Дуная (Ролл, Марковский, 1955) и Волги в районе г. Самара (Кузнецова, 1957).

Целью работы является изучение динамики внутригодового стока фитопланктона р. Обь в створе г. Барнаула (по содержанию хлорофилла *a*, Хл *a*), а также сравнительный анализ показателей стока водорослей в годы с различной водностью. Материалом послужили сезонные данные по содержанию Хл *a* в р. Обь за 2001, 2002 гг. опубликованные ранее (Кириллова и др., 2007) и авторские данные за 2012 и 2013 гг. Пробы отбирали с поверхности воды на трех станциях створа: в 2001–2002 гг. – с периодичностью 10–14 дней, включая период ледостава; в 2012–2013 гг. – еженедельно в период открытой воды и 2–3 раза зимой. Данные о ежедневных расходах реки взяты по гидропосту Барнаул. Годовой сток Хл *a* рассчитывали суммированием всех суточных значений за год.

Для расчета стока Хл *a* восстанавливали его концентрации за каждые сутки между днями отбора методом аппроксимации. За временные промежутки рассчитывали среднеарифметические концентрации Хл *a* из восстановленных за каждый день значений. Расчет суточного стока Хл *a* проводили по формуле:

$$R_{Хл} = Q \cdot C_{Хл} \cdot \alpha \cdot 10^{-9},$$

где $R_{Хл}$ – суточный сток Хл *a* (т/сут.), Q – расход воды (м³/с), $C_{Хл}$ – содержание Хл *a* в воде (мг/м³), α – коэффициент пересчета секундных значений в суточные, равный 86400.

По годовому объему стока воды в створе г. Барнаула (км³/год) аномально маловодным был 2012 г. (33.5), средними по водности – 2001 (55.6) и 2002 гг. (50.3), многоводным – 2013 г. (63.2). Наивысшие пики весеннего половодья (в конце апреля и в конце мая) наблюдались в 2001 г. В 2002 г. была выражена только вторая волна половодья (первая декада июня), а также летние дождевые пики. В 2012 г. отсутствовал обычный режим половодья, а значения расходов в этот период были близки к меженим. 2013 г. характеризовался очень длительным половодьем (до начала июля) и высокой летне-осенней меженью с экстремальным дождевым паводком в конце лета. Средние за год концентрации Хл *a* в воде различались в разные годы и составили 5.9 ± 0.3 , 5.5 ± 0.2 , 7.8 ± 0.4 и 4.2 ± 0.2 мг/м³, соответственно в 2001, 2002, 2012 и 2013 гг. В периоды открытой воды различия были более выражены: 8.2 ± 0.3 , 7.5 ± 0.3 , 12.0 ± 0.6 и 6.1 ± 0.3 мг/м³, соответственно.

Сезонная динамика суточного стока Хл *a* во все годы характеризовалась двухвершинной кривой с максимальными значениями в летние месяцы (кроме 2013 г.). В периоды половодья эта динамика повторяла ход гидрографа, а во время летне-осенней межени максимумы стока Хл *a* определялись концентрацией пигмента в воде. В 2013 г. был отмечен осенний пик суточного стока Хл *a*, вызванный резким увеличением содержания Хл *a* в воде во второй декаде сентября. Величина этого пика превысила июльский максимум.

Наибольший в годовом цикле пик суточного стока Хл *a* (т/сут) наблюдали в маловодный 2012 г. в начале лета (5.8), а наименьший – в многоводный 2013 г. в начале осени (3.6). Помимо межених гидрологических характеристик 2012 г. июньскому пику могли способствовать и погодные условия с устойчивой антициклональной погодой, обеспечившие прогрев воды на 5 °С выше среднемноголетней величины для июня. Среднегодовой суточный сток Хл *a* в 2001, 2002 и 2012 гг. отличался незначи-

тельно (1.07 ± 0.06 , 1.08 ± 0.07 , 1.05 ± 0.07 , соответственно); в 2013 г. – заметно снизился (0.90 ± 0.05). Минимальное среднее значение за период открытой воды также было отмечено в 2013 г. (1.45 ± 0.05), в остальные годы величины были очень близки (1.68 ± 0.07 , 1.67 ± 0.07 , 1.71 ± 0.09 , соответственно). Величины годового стока Хл а (т/год) в 2001, 2002 и 2012 гг. также были близки: 391, 394 и 384, соответственно. В самый многоводный 2013 г. показатель оказался заметно ниже – 330. Доля стока Хл а за период открытой воды в годовом стоке была близка во все годы и составила 96.5, 96.9, 98.1 и 96.4 %, соответственно.

Таким образом, для р. Обь в верхнем течении установлены различия по уровню развития фитопланктона (содержанию Хл а), характеру сезонной динамики и годовым величинам его стока в годы с различной водностью. Наибольшие различия выявлены по средневзвешенным за год и за безледный период величинам концентрации Хл а: максимальные значения отмечены в экстремально маловодный 2012 г., минимальные – в многоводный 2013 г. Сезонная динамика суточного стока Хл а в период весеннего половодья определяется расходами воды, а в период летней межени – содержанием Хл а в единице объема воды. Величины годового стока Хл а оказались близки для разных лет, за исключением самого многоводного 2013 г. Аномально продолжительное половодье и преобладание прохладной погоды циклонального типа летом 2013 г. определили низкий уровень развития фитопланктона в реке и, следовательно, наименьшие величины его годового стока, несмотря на максимальные величины водного стока. Наоборот, в 2012 г. низкие величины водного стока были компенсированы солнечной жаркой погодой в июне и, как следствие, высоким содержанием Хл а в воде. Близкие величины годового стока основного фотосинтетического пигмента фитопланктона свидетельствуют о том, что автотрофное звено экосистемы р. Обь имело постоянный уровень продуктивности в исследованные годы. Вместе с тем, значительное влияние на величину фитостока в отдельные годы оказывают погодные условия в течение вегетационного периода.

А.В. Котовщikov, Е.Ю. Митрофанова, Т.В. Кириллова

УДЕЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА В БИОМАССЕ ФИТОПЛАНКТОНА ВЕРХНЕЙ ОБИ

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, kotovschik@iwep.ru

A.V. Kotovshchikov, E.U. Mitrofanova, T.V. Kirillova

RELATIONSHIP BETWEEN CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION AND PHYTOPLANKTON BIOMASS IN UPPER OB RIVER

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia, kotovschik@iwep.ru

Установление содержания фотосинтетических пигментов в единице объема воды важно для оценки степени развития водорослей планктона в водных объектах (Сиренко, 1975). Основным по количеству в живых клетках фитопланктона, является хлорофилл а (Хл а). Значительные колебания соотношения Хл а и сырой биомассы водорослей (Хл/Б) во времени и пространстве под влиянием экологических факторов препятствуют использованию данного показателя в качестве единой меры количества фитопланктона для всех водных объектов. Накопление сведений по соотношению Хл/Б в фитопланктоне начато в начале 1950-х гг. (Винберг, 1960) и, судя по публикациям последних лет, не перестает быть актуальным. Существует немало работ посвященных исследованию этого показателя в фитопланктоне озер и водохранилищ, основные из которых приводит в своей работе Н.М. Минеева (2004). Литература по изучению данного показателя в текучих водах, наоборот, не многочисленна. Известны данные для европейской реки Маас, где изучали содержание различных пигментов в биомассе разных групп водорослей (Jean-Pierre, Arnaud, 1996). В бассейне р. Обь такое исследование проведено только на реках бассейна Верхнего Чулыма (Кириллова, Кириллов, 2010). Поэтому изучение соотношения Хл/Б в крупнейшей равнинной реке Оби является весьма актуальным.

Материалом нашей работы послужили натурные данные по биомассе фитопланктона и содержанию Хл *a* в воде р. Обь в черте г. Барнаула (май, сентябрь 1993 г., апрель, май 1998 г., апрель–сентябрь 2001 г., июнь, июль, октябрь 2007 г., июнь 2009 г., октябрь 2010 г.), а также у г. Камень-на-Оби (октябрь 2004 г.). Пробы отбирали в период открытой воды в основные фазы гидрологического цикла реки: весенне-летнее половодье, летняя и осенняя межень. Данные по содержанию минерального азота и фосфора в воде любезно предоставлены Л.А. Долматовой.

За весь период исследования общая биомасса фитопланктона варьировала от 32 до 781 мг/м³. Среднее значение за все периоды составило 269 ± 20 мг/м³ (n = 85, C_v = 68 %). В половодье диапазон значений был таким же, но среднее было ниже – 204 ± 23 мг/м³ (n = 47, C_v = 78 %). Во время летне-осенней межени биомасса в среднем была заметно выше: в летние месяцы – 384 ± 31 мг/м³ (n = 21, C_v = 37 %), в осенние – 306 ± 51 мг/м³ (n = 18, C_v = 71 %). Наибольшую долю во все периоды составляли диатомовые водоросли. В 2001 г. их вклад в биомассу изменялся от 34 до 99 % и в среднем составил 67 ± 5.6 % (n = 12, C_v = 29 %). Существенную долю вносили также зеленые: преобладали значения 10–25 %, реже возрастая до 51 %. Содержание Хл *a* в воде изменялось от 1.1 до 29.6 мг/м³. Среднее значение составило 9.2 ± 0.8 мг/м³ (n = 85, C_v = 77 %). Различия показателя в разные гидрологические фазы совпадали с таковыми для биомассы фитопланктона: во время половодья среднее составило 5.1 ± 0.4 мг/м³ (n = 46, C_v = 53 %), в период летней межени – 15.4 ± 1.6 мг/м³ (n = 21, C_v = 49 %), осенью – 12.6 ± 1.8 мг/м³ (n = 18, C_v = 60 %).

Известно, что в озерах и водохранилищах биомасса фитопланктона и концентрация Хл *a* закономерно связаны между собой (Елизарова, 1993). Коэффициенты корреляции в оз. Неро составили 0.87–0.94 (Сиделев, Бабаназарова, 2008). Для фитопланктона Верхней Оби коэффициент корреляции между этими показателями за все периоды был невысок (0.42, при p < 0.05), то есть соответствовал умеренной связи. Во время половодья и летней межени достоверных корреляций не обнаружено вовсе, но осенью связь была довольно высока (0.67, при p < 0.05).

Исследователи отмечают, что при расчете показателя Хл/Б необходимо учитывать количество продуктов распада хлорофилла (феопигментов). Более тесная связь биомассы фитопланктона с «чистым» Хл *a* (без фео пигментов) установлена для Рыбинского водохранилища (Елизарова, 1974). Количество фео пигментов в планктоне Верхней Оби варьировало от 11 до 90 % и в среднем составило 41 ± 2.6 % (n = 59, C_v = 49 %). Корреляция значений биомассы с концентрациями Хл *a* за вычетом продуктов его распада оказалась выше (0.52 при p < 0.05), и соответствовала средней связи. Поэтому, для расчета показателя Хл/Б мы использовали содержание «чистого» Хл *a*.

Удельное содержание Хл *a* в единице сырой биомассы фитопланктона Верхней Оби значительно варьировало (0.24–7.71 %). Среднее значение составило 2.66 ± 0.22 % (n = 69, C_v = 69 %). Пределы колебания показателя Хл/Б в разные фазы гидрологического цикла различались незначительно. Для периода половодья отмечено наименьшее значение – 2.16 ± 0.25 % (n = 35, C_v = 68 %). Во время летней и осенней межени величины совпали и составили 3.18 ± 0.57 (n = 16, C_v = 71 %) и 3.18 ± 0.43 % (n = 18, C_v = 58 %), соответственно. Различия средних значений для половодья от таковых в межень оказались не достоверными.

Полученные величины укладываются в пределы известных из литературы значений (0.08–9.7 %) (Трифонов, Десортова, 1983). В то же время, они заметно превышают значения, известные для озер и водохранилищ, которые редко бывают более 1 % (Елизарова, 1993). Тем не менее, в оз. Неро максимальные величины Хл/Б доходили до 4 % (Сиделев, Бабаназарова, 2008). В водотоках бассейна р. Чулым показатель Хл/Б составлял 0.02–0.83 % при доминировании диатомовых (Кириллова, Кириллов, 2010).

Важнейшими экологическими факторами, от которых зависит Хл/Б, являются свет, концентрации в воде биогенных веществ и таксономический состав водорослей. Предполагают, что высокое содержание пигмента в клетках может объясняться адаптацией водорослей к слабому освещению (Елизарова, 1993). Неблагоприятные условия для проникновения света в водную толщу Верхней Оби могут способствовать появлению такой адаптации: прозрачность воды в половодье составляла в среднем 0.3, во время летней межени – 0.5, осенью – 0.7 м. Кроме того, содержание хлорофилла в клетках водорослей прямо зависит от обеспеченности их биогенными элементами. Поэтому максимальные значения Хл/Б характерны для высоко эвтрофных водоемов (Минеева, 2004). Среднее за период открытой воды содержание минерального азота в Верхней Оби составляет 0.3–0.4 мгN/дм³, фосфора – 0.02 мгP/дм³. Эти значения превышают минимальные количества, достаточные для оптимального роста водорослей (Оуэнс, 1977). Появление в планктоне даже небольшого количества зеленых водорослей заметно повышает показатель Хл/Б, который составляет в среднем 6.0 % в культуре этих водорослей (Пырина, Елизарова, 1971). Это также может влиять на высокие значения Хл/Б в планктоне Оби, где зеленые являются содоминантами по биомассе.

Полученные величины Хл/Б для фитопланктона крупнейшей равнинной реки Обь пополняют сведения об изменчивости этого показателя в разных водных объектах и позволят более точно использовать хлорофилльный метод для расчета биомассы водорослей. Повышенное содержание хлорофилла в клетках обского фитопланктона, вероятно, определяется комплексом условий среды: низкой прозрачностью, высоким содержанием биогенов в воде и значительной долей зеленых водорослей в общей биомассе.

Е. С. Кривина

ЛЕТНИЙ ФИТОПЛАНКТОН САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2006–2009 ГГ.

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, pepelisa@yandex.ru

E.S. Krivina

SUMMER PHYTOPLANKTON OF SARATOV RESERVOIR IN 2006–2009

Institute of the Ecology of Volga Basin RAS, Togliatti, Russia, pepelisa@yandex.ru

Саратовское водохранилище (площадь 1830 км²) образовано зарегулированием Волги у г. Балаково в 1967 г. и заполнено до нормального подпорного уровня весной 1969 г. Согласно В.И. Сиденко (1973), по геоморфологическим и гидрологическим особенностям в водохранилище выделяют верхний, средний и нижний участки. Верхний участок от плотины ГЭС у г. Тольятти до г. Самары, близок к речному типу. В его пределах в межень вся водная масса располагается в русле. Средний участок характеризуется лотическими условиями от г. Самары до г. Октябрьска и озерно-речными от г. Октябрьск до г. Сызрань. Рельеф водохранилища значительно усложняется за счет частичного затопления пойм, многочисленных понижений, протоков, озер, русел ручьев. Наиболее широкий и глубоководный нижний участок от г. Сызрани до Балаковской ГЭС характеризуется как озерный (Попченко, 2001).

Изучение фитопланктона Саратовского водохранилища проводили сотрудники Саратовского отделения ГосНИИОРХ Е.Н. Болохонцев (1902), А.К. Климова (1964), И.Н. Далечина (1968, 1971, 1973, 2001), Г.В. Сильникова (2001), а также Н.А. Герасимова (1994), обобщившая материалы многолетних исследований с 1960-х – 1980-х гг. (Фитопланктон..., 2003). Активное участие в изучение фитопланктона Саратовского водохранилища принимали альгологи Куйбышевской биостанции ИБВВ АН СССР (с 1983 г. – ИЭВБ РАН) и сотрудники Тольяттинской ГМО (Зеленевская, 1998). Наши исследования выполнены в июне – августе 2006–2009 гг. в составе комплексной экспедиции ИЭВБ РАН. Отбор проб фитопланктона проводили по установленной методике. Кроме фитопланктона открытой пелагической части водоема были изучены

водоросли, развивающиеся в зоне фитали (Чертопруд, 2007), т.е. в сообществах высших водных растений (кубышка желтая, рдест тонколистный, рогоз широколистный, роголистник темно-зеленый, стрелолист обыкновенный).

В составе фитопланктона было зарегистрировано 275 таксонов рангом ниже рода. Они относятся к 94 родам, 57 семействам, 20 порядкам, 15 классам, 8 отделам. Наибольшим видовым богатством характеризовались диатомовые водоросли, включавшие около 43 % общего числа видовых и внутривидовых таксонов. Затем следовали зеленые (33 %), синезеленые (цианопрокариоты) (12%), эвгленовые (5 %), динофитовые (4 %), криптофитовые (1 %), желтозеленые (1 %) и золотистые (1 %). В зоне фитали было зафиксировано 140 видов и внутривидовых таксонов. Они относятся к 58 родам, 37 семействам, 18 порядкам, 14 классам, 8 отделам. Среди них отмечено 42 таксона рангом ниже рода, не встреченных в пелагической части водоема. Из них 57 (или 14 %) относятся к диатомовым водорослям. Альгофлора сообществ высшей водной растительности вносит существенный вклад в значения показателей численности и биомассы.

Видовое разнообразие фитопланктона на различных участках водохранилища существенно не менялось. Средний коэффициент Шеннона, рассчитанный по численности, составил 2.67, по биомассе – 2.56. Несколько выше видовое разнообразие было на мелководьях и в устьевых участках рек, где его обогащение идет за счет водорослей-обрастателей высшей водной растительности и за счет таксонов, поступающих из притоков (средний коэффициент Шеннона по численности 3.57, по биомассе 3.64).

Эколого-географический анализ альгофлоры Саратовского водохранилища показал, что основная часть зарегистрированных водорослей широко распространена в континентальных водоемах (виды-космополиты). Комплекс планктонных форм составляет 55 % общего числа видов, для которых известно традиционное местообитание. Также значительна доля бентосных (20 %) и литоральных форм (12 %), роль которых особенно заметна для диатомовых водорослей. По отношению к солености воды преобладают индифференты (77 %). На долю галофилов приходится 8 %, галофобов – 4 %. По отношению к pH среды преобладают алкалифильные (55 %) и индифферентные (42 %) формы. Виды-индикаторы органического загрязнения составляют 59 % всего состава водорослей. На долю видов, показателей его низкой степени (от 0- до 0-α)от приходится 43 %, средней (β-мезосапробы) – 42 %, высокой (от β-α до ρ) – 15 %.

Количественные характеристики развития фитопланктона на различных участках водохранилища варьировали в широком диапазоне. Численность и биомасса были стабильно высокими на верхнем (средняя численность 53.8 млн кл./л, средняя биомасса 22.63 мг/л) и нижнем участках водохранилища (численность 37.4 млн кл./л, биомасса 20 мг/л). На среднем участке количественные показатели развития фитопланктона были существенно ниже (численность 10.3 млн кл./л, биомасса 6.43 мг/л). По численности на всех трех участках преобладали синезеленые водоросли, составляя около 78 % общей численности; затем следуют диатомовые (22 %) и зеленые (7 %). Это связано с тем, что отбор проб проводили летом (в середине июня, июля и августа), в период «цветения» воды. Высокая численность синезеленых в верхнем участке водоема, вероятно, связана с их поступлением из Приплотинного плеса Куйбышевского водохранилища, который характеризуется небольшими глубинами, большой площадью, замедленным течением и высокой степенью антропогенной нагрузки от расположенного на его берегах г. Тольятти. Несмотря на то, что скорость течения в этом районе водохранилища максимальна, именно здесь регулярно регистрировался абсолютный максимум развития представителей отдела Cyanophyta (1.56 млн кл./л).

Зеленевская Н.А. Мониторинг фитопланктона и оценка экологического состояния Саратовского водохранилища: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 1998.
Попченко И.И. Видовой состав и динамика фитопланктона Саратовского водохранилища. Тольятти, 2001. 148 с.
Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовье реки. СПб.: Наука, 2003. 231 с.
Чертопруд М.В. Разнообразие водных систем: учеб. пособие. М.: Изд. МГУ, 2007. 64 с.

С.А. Курбатова, Н.А. Лаптева, И.Ю. Ершов
ХЛОРОФИЛЛ А И ФОТОСИНТЕЗ ВОДРОСЛЕЙ
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ С ГИДРОФИТАМИ

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН, п. Борок, Россия, kurb@ibiw.yaroslavl.ru

S.A. Kurbatova, N.A. Lapteva, I.Yu. Yershov
CHLOROPHYLL A AND ALGAL PHOTOSYNTHESIS IN EXPERIMENTAL ECOSYSTEMS
WITH HYDROPHYTES

Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, kurb@ibiw.yaroslavl.ru

Высшие водные растения активно заселяют мелководные зоны водоемов и оказывают значительное влияние на разнообразие, функционирование и сезонные особенности развития водорослей, изменяя условия освещения, гидродинамику и гидрохимию, конкурируя за биогены, выделяя аллелопатические вещества и действуя на организмы-альгофаги. Структурно-функциональные показатели различных сообществ гидробионтов на заросших высшими растениями мелководьях тесно связаны с видовым составом фитоценозов и плотностью зарослей. Цель работы – определить влияние высших водных растений разных экологических групп (погруженные, плавающие и воздушно-водные) на содержание хлорофилла и скорость фотосинтеза фитопланктона. Поскольку в природных водоемах на сообщества гидробионтов оказывают влияние множество абиотических и биотических факторов, которые в полном объеме не могут быть учтены исследователями, натурные наблюдения не позволяют сделать конкретные заключения о роли водных растений в жизнедеятельности тех или иных организмов. В связи с этим возникает необходимость проведения эксперимента с созданием искусственных экосистем, когда большинство факторов находится под контролем исследователей.

Были проведены два эксперимента с использованием микрокосмов смешанного типа MFC (mixed flask culture) (Lefler, 1984) – искусственных экосистем, изначально содержащих все организмы, которые имеются в природном водоеме и их количество и состав определяется случаем, а не экспериментатором. Объем микрокосмов составлял 300 л, уровень воды 0.3 м. Подробно организация эксперимента описана в работе (Курбатова и др., 2013). Наблюдения проводили в период активной вегетации растений, каждый опыт длился в течение двух месяцев (эксперимент I 2.07–2.09.2008, эксперимент II 1.07–29.08.2010). В эксперименте I исследовали влияние двух видов погруженных растений роголистника *Ceratophyllum demersum* L. и элодеи *Elodea canadensis* Michx. (1000 г сырой массы на микрокосм) и плавающего на поверхности водокраса *Hydrocharis morsus-ranae* L. (250 растений на микрокосм). В эксперименте II – плавающего телореза *Stratiotes aloides* L. (10 растений на микрокосм) и воздушно-водного стрелолиста *Sagittaria sagittifolia* L. (20 растений на микрокосм). Эксперимент II также включал вариант совместного содержания телореза и стрелолиста в одном микрокосме (5+10 растений, соответственно). Каждый вариант опыта выполняли в трех повторностях, контролем служили экспериментальные экосистемы без высших водных растений.

В эксперименте I спустя неделю от начала эксперимента концентрация хлорофилла во всех вариантах с гидрофитами снизилась. Средние показатели за период наблюдений составили в контроле 4.5 мкг/л, с роголистником - 1.4 мкг/л, с элодеей - 1.1 мкг/л, с водокрасом - 1.9 мкг/л. Во всех экспериментальных экосистемах с растениями прослеживалась тесная корреляционная зависимость концентрации хлоро-

филла от содержания основных катионов и общей минерализации воды. В микрокосмах с элодеей и водокрасом концентрация хлорофилла была связана с численностью *Cladocera* ($R = -0.73$, $p = 0.02$ и $R = -0.74$, $p = 0.01$, соответственно), среди роголистника с общей биомассой зоопланктона ($R = 0.71$, $p = 0.02$). Фотосинтез фитопланктона в присутствии растений, как правило, протекал с более низкой, чем в контроле скоростью. В среднем фотосинтез был максимальным в контрольных экосистемах (0.64 мг O_2 /(л·сут)), минимальным с элодеей (0.2 мг O_2 /(л·сут)). В присутствии водокраса и роголистника средняя величина фотосинтеза составила 0.47 и 0.32 мг O_2 /(л·сут.), соответственно. Отношение фотосинтеза к деструкции (Ф/Д), рассчитанное по средним за период наблюдений данным, было наибольшим в контроле (1.2). В экспериментальных экосистемах с растениями деструкция ОВ шла интенсивнее, чем образование первичной продукции. Величина Ф/Д убывала в ряду: водокрас (0.8) – роголистник (0.6) – элодея (0.5).

В эксперименте II среднее за опыт содержание хлорофилла в экспериментальных экосистемах без растений и со стрелолистом было близким (2.1 мкг/л и 2.3 мкг/л, соответственно). Максимум этого показателя в контроле отмечали в конце июля (4.4 мкг/л), со стрелолистом более высокие, чем в других вариантах, концентрации пигмента (до 4.6 мкг/л) регистрировали с конца июля до середины августа. Среди телореза (как одного, так и совместно со стрелолистом) концентрация хлорофилла фитопланктона была достоверно ниже, чем в контроле в течение 40 сут наблюдений. Она становилась выше контрольной в третьей декаде августа. Средние за опыт значения составили с телорезом 1.1 мкг/л, при совместном присутствии телореза и стрелолиста 1.3 мкг/л. В обоих этих вариантах выявлена тесная связь между содержанием хлорофилла и численностью ветвистоусого рачка *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Müller) ($R = 0.77$, $p = 0.04$). Несмотря на низкую концентрацию хлорофилла среди телореза, скорость фотосинтеза в его присутствии в начале и в конце опыта была несколько выше, чем в контроле, за исключением 30-х сут, когда в контрольных экосистемах отмечали пик фотосинтеза (1.45 мг O_2 /л), совпадающий с максимумом хлорофилла. В контроле фотосинтез коррелировал с концентрацией фосфатов ($R = 0.84$, $p = 0.036$). Средняя за период наблюдений скорость фотосинтеза в контроле была 0.53 мг O_2 /л, в микрокосмах с телорезом 0.48 мг O_2 /л. Среди стрелолиста фотосинтез фитопланктона протекал активнее, чем в остальных вариантах (среднее значение 0.7 мг O_2 /л). В лотках с обоими видами растений ход кривой изменения скорости фотосинтеза повторял таковой с одним стрелолистом, но с меньшими величинами. В результате среднее за эксперимент значение фотосинтеза было близко к контрольному (0.51 мг O_2 /л). Во всех вариантах эксперимента II продукционные процессы преобладали над деструкционными. Максимальное отношение Ф/Д отмечали среди стрелолиста (2.1), минимальное при совместном росте стрелолиста и телореза (1.4). В контроле фотосинтез превышал деструкцию в 1.7 раз, с телорезом в 2 раза.

Таким образом, растения, относящиеся к разным экологическим группам, оказывают различное влияние на функционирование фитопланктона. В присутствии погруженных и плавающих растений происходит уменьшение концентрации хлорофилла и скорости фотосинтеза водорослей. Деструкция органического вещества снижается среди погруженных растений, но несколько увеличивается среди плавающих. В экосистемах с воздушно-водными растениями значительно активнее становятся деструкционные процессы, ускоряется фотосинтез, снижения концентрации хлорофилла не происходит. Взаимоотношения между высшими водными растениями и водорослями определяются как действием гидрофитов на гидрохимические параметры среды и освещение, так и изменением условий для микроорганизмов и определенных видов зоопланктона, питающихся фитопланктоном.

Курбатова С.А., Лаптева Н.А., Ершов И.Ю., Борисовская Е.В. Средаобразующая роль гидрофитов в развитии и функционировании планктонных сообществ // Тр. Карельского НЦ РАН. Сер. Экспериментальная биология. 2013. № 3. С. 119–128.

Lefler J.W. The use of self-selected, generic aquatic microcosm for pollution effects assessment // Concepts in marine pollution measurements. / Ed. White H. H. University of Maryland, 1984. P. 139–147.

О.А. Ляшенко

**ФИТОПЛАНКТОН ЛУЖСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ**

Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства,
г. Санкт-Петербург, Россия, strannik892@gmail.com

O.A. Lyashenko

**PHYTOPLANKTON OF THE LUGA BAY (GULF OF FINLAND) IN WATER AREA
OF HYDRAULIC WORKS**

State Research Institute of Lakes and Rivers Fishery, St. Petersburg, Russia, strannik892@gmail.com

Гидротехнические работы, приводящиеся в Лужской губе Финского залива, связаны преимущественно со строительством морского торгового порта «Усть-Луга». Перемещение больших объемов грунта (строительство терминалов, дноуглубление) и засыпки части дна морских отвалов приводит к возникновению зон мутности, связанных с попаданием в водную толщу большого количества взвешенных веществ. Фитопланктон Лужской губы на различных участках гидротехнических работ (в зоне дноуглубления, на участках, отведенных под отвал грунта, а также на прилегающих акваториях) изучали в 2005. и 2008–2013 гг.

В безледный период в течение всех лет наблюдений биомассу фитопланктона формировали преимущественно синезеленые, диатомовые, криптофитовые водоросли, в отдельные периоды – зеленые, динофитовые и эвгленовые. Основной доминирующей по численности группой в течение всего периода наблюдений были синезеленые водоросли, в отдельные сезоны отмечалось численное преобладание диатомовых и зеленых. Наибольшая численность и биомасса фитопланктона были характерны для весны и первой половины лета, наименьшие – для осеннего периода. Максимальные величины биомассы летом (в среднем 5.57 мг/л в июле и 2.56 мг/л в августе) отмечались в 2010 г., в остальные годы летняя биомасса составила 0.24-1.67 мг/л. Осенью 2008–2013 гг. средняя биомасса изменялась от 0.06 до 0.36 мг/л. Только в октябре 2005 г. при благоприятных погодных условиях она достигала 1.43 мг/л.

Основными доминантами фитопланктона Лужской губы были синезеленые водоросли *Pseudoanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Limnothrix redekei* (Van Goor) Meffert, *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom. и *Woronichinia compacta* (Lemm.) Kom. et Hindak, диатомовые – *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve, *Stephanodiscus* sp., *Cylindrotheca closterium* (Ehr.) Reim. at J. Lewin, *Diatoma tenuis* Ag., *Cyclotella atomus* Hust., *Actinocyclus* sp., криптофитовые водоросли рода *Cryptomonas*, *Chroomonas acuta* Uterm., зеленая *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.- Legn., динофитовая *Peridinium aciculiferum* Lemm., эвгленовая *Eutreptia* sp. Таксономический состав фитопланктона во все сроки наблюдений был сходным, сезонные изменения наблюдались только в составе доминирующих групп.

В районах проведения гидротехнических работ прослеживались различия в составе и количественном развитии фитопланктона, выражавшиеся в снижении численности и биомассы водорослей в районах дноуглубления, уменьшении доли нитчатых синезеленых, увеличении содержания динофитовых водорослей (Максимова, 2006). В осенний период 2005 г. были отмечены аналогичные изменения: уменьшение численности и биомассы синезеленых наряду с увеличением доли криптофитовых. По результатам исследований 2008 г. в районе дноуглубления средние величины численности и биомассы фитопланктона также были меньше, чем на участках от-

вала грунта и прилегающих акваториях. В 2009–2013 гг. подобные различия не прослеживались. Вероятно, в первую очередь это связано с увеличением в последние годы масштаба проводимых в Лужской губе гидротехнических работ, благодаря чему вся юго-восточная акватория губы в той или иной степени подвержена их влиянию.

Максимова О.Б. Влияние повышенной мутности воды на структурно-функциональные характеристики фитопланктона // Экологические аспекты воздействия гидростроительства на биоту акватории восточной части Финского залива. Сб. научн. трудов ФГНУ «ГосНИОРХ». 2006. Вып. 333. Т.1. С.86–121.

С.Е. Мазина

СООБЩЕСТВА ВОДОРΟΣЛЕЙ ЭКСКУРСИОННЫХ ПЕЩЕР

Московский государственный университет пищевых производств; Институт ветеринарно-санитарной экспертизы и экологии, г. Москва, Россия, conophytum@mail.ru

S.E. Mazina

ALGAE COMMUNITIES IN SHOW CAVES

Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia, conophytum@mail.ru

Одним из эффективных способов выживания в окружающей среде является формирование сообществ обрастаний или биопленок (Prakash et al., 2003), в результате чего повышается устойчивость сообществ к неблагоприятным факторам среды (Korbe et al., 1994). Комплекс приспособительных механизмов обеспечивает сцепление с поверхностью, на которой формируется биопленка, образование внешнего матрикса, нивелирующего колебания внешних факторов и межвидовую адаптацию. Сообщества могут быть как моновидовыми так и поливидовыми, однако комбинация из нескольких видов имеет преимущество по выживанию (Kumar, Anand, 1998). Биопленки характерны для поверхностей и часто приурочены к зонам интерфейсов, границе сред. Частным случаем образования сообществ обрастаний является пещерная среда, где в условиях искусственного освещения, повышенной влажности и относительно стабильной температуры развиваются сообщества фототрофных организмов. В состав видов входят проростки папоротников, мохообразные на разных стадиях развития, водоросли и цианобактерии.

На основе многолетних исследований в экскурсионных пещерах Крыма (Мраморная, Эмине-Баир-Хосар, Кизил-Коба) и Кавказа (Воронцовская, Ахштырская, Новоафонская) проведен анализ видового состава сообществ обрастаний, формирующихся при искусственном освещении. Все изученные пещеры заложены в известняках. Рассматривались сообщества на разных стадиях сукцессии, временной диапазон существования сообществ составлял от года до 15 лет. Биотопы различались условиями увлажнения и типами субстратов. Субстраты были представлены известняком, кальцитом, глинистыми отложениями различной мощности. Влага на субстраты поступала из воздуха, с периодическими водными потоками или капелями. Различался уровень трансформации субстратов от момента первичного зарастания породы до формирования почвоподобных тел под биопленками. Анализировали также участки повторного зарастания после удаления первичных сообществ различными механическими или химическими способами.

В результате выделены альго-цианобактериальные сообщества обрастаний, характерные для всех пещер. Наиболее значимым признаком для формирования видового состава сообществ оказалось увлажнение субстрата. При поступлении влаги только из атмосферы наиболее распространены были зеленые водоросли. Эти сообщества отмечены среди первопоселенцев на известняке как плотном, так и рыхлом, на глинистых отложениях и кальците. На начальном этапе зарастания преобладали моновидовые сообщества *Chlorella vulgaris*, *Mychonastes homosphaera*, *Chlorhormidium flaccidum*, *Chlorococcum minutum*, часто имеющие форму окружностей до 0.5 м диаметром. В дальнейшем такие сообщества образовывали обширные зарастания, площадью до десятков квадратных метров. На рыхлом известняке и в

трещинах кальцита и известняка к преобладающей Ch-форме водорослей добавлялись цианобактерии P-формы и протонема мхов. Цианобактерии *Leptolyngbya tenuis*, *Jaaginema angustissimum*, *Phormidium autumnale* отмечались в сообществах на известняке и кальците на второй стадии сукцессии. В данном случае преобладали виды водорослей, способные проникать в пористый субстрат. Такую же стратегию роста имеет и протонема мхов, появляющаяся в данных сообществах на следующей стадии сукцессии, после водорослей P-формы.

В аналогичных условиях развивались сообщества водорослей Chroococcales, образующих слизистые пленки, где доминировали различные виды рода *Gloeocapsa*, *Gloeothese confluens*, то есть водоросли C-формы. Однако эти сообщества не достигали макроскопических размеров и преобладали на плотном известняке или глинистых отложениях, в последнем случае они, как правило, соседствовали с сообществами мохообразных, занимая участки субстрата между растениями.

На кальците и глинистых отложениях были распространены сообщества с доминированием N-формы, включавшие в себя виды *Nostoc paludosum*, *Nostoc microscopicum*, *Nostoc commune*, а также виды C-формы, чаще всего *Microcystis pulvereae*, и незначительное число представителей P-формы. На глинистых отложениях доминировал вид *Nostoc microscopicum*. Сообщества, развивающиеся на кальците, разрастались до нескольких квадратных метров, а на глинистых субстратах располагались небольшими участками от нескольких квадратных миллиметров до квадратных сантиметров, занимая участки со сложным рельефом, на которых было осложнено произрастание мохообразных и папоротников. В случае периодического сезонного (иногда почти постоянного) увлажнения кальцита водными потоками формировались сообщества цианобактерий, образующих известковые чехлы, таких как *Scytonema drilosiphon*, *Schizothrix vaginata* и *Tolypothrix calcarata*, которые занимали площади до нескольких квадратных метров. На тонких глинистых отложениях, располагающихся на известняке, независимо от основного типа сообществ, присутствовали представители диатомовых *Navicula sp.*, *Diadismis contenta*, *Diatoma vulgare* и *Navicula cryptocephala*, которые могли располагаться между мохообразными, соседствовать с зелеными одноклеточными водорослями или колониями представителей Chroococcales. В постоянных водных потоках, протекающих по поверхности кальцитовых отложений, обнаружены сообщества, включавшие цианобактерии *Nodularia spumigena*, *Nostoc microscopicum*, диатомовые водоросли *Diadismis contenta*, *Pinnularia borealis*, *Neidium affine*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula radiosa*, *Navicula ekegans*, *Amphora sp.* и зеленые водоросли *Chlamydomonas intermedia* и *Cladophora glomerata*. Водоросли формировали плотные обрастания на поверхности, под которыми происходило разрушение кальцитового слоя. В ванночках заполненных водой преобладали цианобактерии, в основном вид *Nodularia spumigena*.

Сообщества обрастаний на плотных субстратах представляли собой мозаичную картину дискретно расположенных биопленок, состоящих из разных видов. В различных пещерах, несмотря на географическую удаленность, доминировали сходные виды. Изменение видового состава сообществ происходило в направлении увеличения числа видов и появлении в первоначально цианобактериально-водорослевых сообществах сначала протонемы мхов, а в дальнейшем мохообразных и папоротников. Этот процесс сопровождался преобразованием субстрата и увеличением мощности глинистых отложений, до образования почвоподобных тел.

Prakash B., Veeregowda B. M., Krishnappa G. Biofilms: a survival strategy of bacteria // Current Science. 2003. V. 85. P. 1299–1307.

Korber D. R., James G. A., Costerton J. W. Evaluation of fleroxacin activity against established *Pseudomonas fluorescens* biofilms // Applied and Environmental Microbiology. 1994. V. 60. P. 1663–1669.

Kumar C. G., Anand S. K. Significance of microbial biofilms in food industry: a review. // Intern. J. Food Microbiology. 1998. V. 42. P. 9–27.

Н.Н. Макаренкова

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА ВОДОХРАНИЛИЩ СЕВЕРНОГО
СКЛОНА ВОЛГО-БАЛТИЙСКОГО ВОДНОГО ПУТИ**

Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства, Вологодская лаборатория, г. Вологда, Россия, mackarenkova@yandex.ru

N.N. Makarenkova

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON IN RESERVOIRS OF THE VOLGA-BALTIC
WATERWAY, THE NORTHERN SLOPE**

State Research Institute of Lake and River Fisheries, Vologda laboratory, Vologda, Russia,
mackarenkova@yandex.ru

Фитопланктон водохранилищ имеет специфические черты, обусловленные региональными особенностями водоемов и режимом эксплуатации. На территории Вологодской области создание водохранилищ в первую очередь было связано со строительством Волго-Балтийского водного пути. Наиболее регулярные исследования посвящены Рыбинскому и Шекснинскому водохранилищам, представляющим собой крупные водоемы с многосторонним хозяйственным значением (Современное состояние, 1993, Современное состояние, 2002).

Небольшие по площади водохранилища северного склона Волго-Балта (Вытегорское, Белоусовское и Новинкинское) изучены в меньшей степени (Лобуничева, 2013, Борисов, 2013). Вытегорское ($S_{\text{нпу}} = 20.1 \text{ км}^2$), Белоусовское ($S_{\text{нпу}} = 7.1 \text{ км}^2$) и Новинкинское ($S_{\text{нпу}} = 2.5 \text{ км}^2$) водохранилища образованы на месте бывшего русла р. Вытегра. Наиболее сложную котловину, значительную площадь и наименьшую среднюю глубину (2.9 м) имеет Вытегорское водохранилище. Здесь, наряду с глубоководной зоной, имеется обширное мелководье с зарослями макрофитов. В Белоусовском и Новинкинском водохранилищах нет выраженной мелководной зоны. Они имеют также большую глубину (средние глубины соответственно 7.1 м и 7.4 м). В 2013 году было проведено комплексное изучение всех трех водохранилищ в период с июня по сентябрь. Ранее исследования фитопланктона этих водных объектов носили несистематический характер.

В Вытегорском водохранилище в фитопланктоне представлены диатомовые, синезеленые, зеленые, золотистые, эвгленовые, криптофитовые и динофитовые водоросли. Наиболее часто встречаются синезеленые, диатомовые и зеленые. Среди синезеленых в водохранилище присутствуют в большом количестве колониальные (виды рода *Aphanothece*, *Gloeocapsa limnetica*, *Merismopedia tenuissima*) и нитчатые формы (виды родов *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Oscillatoria*). Особо многочисленны трихомы *Anabaena hassalii*, *A. planktonica*, *Aphanizomenon gracile*, *A. flos-aqua*, которые способны давать вспышки численности и вызывать «цветение» воды. Высокую численность в Вытегорском водохранилище имеют нити центрических диатомовых водорослей *Aulacoseira granulata f. granulata*, *A. italica var. italica*, *A. valida*. Среди зеленых водорослей многочисленна и наиболее разнообразна группа хлорококковых, также в заметном количестве присутствуют нити улотриксковых. Основную биомассу фитопланктона составляют диатомовые, эвгленовые, синезеленые и золотистые. Высокую массу дают многочисленные нити центрических диатомовых и синезеленых. Среди крупноклеточных эвгленовых из родов *Trachelomonas* и *Euglena* не наблюдается видов, достигающих высокой плотности, но их доля в общей биомассе значительна. Из отдела золотистые водоросли общая масса водорослей увеличивается видами *Dinobryon cylindricum*, *D. divergens*. В течение летнего периода 2013 г. в Вытегорском водохранилище численность и биомасса водорослей планктона в среднем составили 6.5 млн кл./л и 1.9 г/м³ соответственно. Минимальные количественные показатели фитопланктона были отмечены в юго-восточной части вблизи Белоусовского водохранилища. В предыдущие годы отмечались биомассы от 0.24 до 3.81 г/м³.

Фитопланктон Белоусовского водохранилища формируется диатомовыми, синезелеными, зелеными, золотистыми, криптофитовыми, динофитовыми водорослями. Диатомовые представлены преимущественно нитями центрических форм из рода *Aulacoseira*. Пеннатные диатомовые немногочисленны. Среди них встречаются *Asterionella formosa*, *Tabellaria* sp. Из зеленых водорослей в водохранилище преобладают одиночные клетки и небольшие ценобии хлорококковых. В Белоусовском водохранилище в сравнении с Вытегорским фитопланктон развивается менее интенсивно. Так, средние показатели численности и биомассы в летний период составили 1.7 млн кл./л и 0.9 г/м³ соответственно. Абсолютными доминантами по числу клеток и массе водорослей были диатомовые (около 80% общих показателей численности и биомассы). В предыдущие годы биомасса фитопланктона в Белоусовском водохранилище составляла в среднем 0.7 г/м³, а численность 3.5 млн кл./л.

В Новинкинском водохранилище в состав фитопланктона входят диатомовые, зеленые, синезеленые, криптофитовые и динофитовые водоросли. Большая часть биомассы приходится на диатомовые (преимущественно из рода *Aulacoseira*). Также в различные периоды заметный вклад вносят нитчатые синезеленые (р. *Aphanizomenon*) и мелкоклеточные хлорококковые. По численности преобладают мелкоклеточные колониальные синезеленые. Биомасса фитопланктона составила в исследуемый период в среднем 0.6 г/м³, численность около 3.0 млн кл./л. В предыдущие годы эти показатели были на уровне 1.1-1.2 г/м³ и 1.6-3.2 млн кл./л соответственно.

В фитопланктоне водохранилищ северного склона Волга-Балта отмечается схожий комплекс доминантных групп: центрические диатомовые из рода *Aulacoseira*, синезеленые (преимущественно нитчатые из родов *Aphanizomenon*, *Anabaena*) и хлорококковые водоросли. Наибольшим разнообразием и интенсивностью развития водорослей планктона характеризуется замыкающее Вытегорское водохранилище. Увеличение количественных показателей здесь отчасти обусловлено большим разнообразием биотопов, морфологическими особенностями котловин и наличием планктостока.

Борисов М.Я., Думнич Н.В., Лобуничева Е.В. и др. Особенности формирования сообществ гидробионтов водохранилищ северного склона Волго-Балтийского водного пути // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского Севера: Тез. докл. XXIX Международ. конф. [Электронный ресурс]. Мурманск: ПИНРО, 2013.

Лобуничева Е.В. Зоопланктон водохранилищ северного склона Волго-Балтийского водного пути // Биология внутренних вод: Матер. XV Школы-конф. молодых ученых (Борок). Кострома: ООО «Костромской печатный двор», 2013. С. 246-250.

Современное состояние экосистемы Рыбинского водохранилища. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 254с. Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль, 2002. С. 120–146.

О.Б. Максимова
ФИТОПЛАНКТОН ПРОЛИВА БЪЕРКЕЗУНД ФИНСКОГО ЗАЛИВА В ПЕРИОД
ГИДРОСТРОИТЕЛЬСТВА

Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства,
г. Санкт-Петербург, Россия, olgamaximova@mail.ru

O. B. Maximova
PHYTOPLANKTON OF BYERKEZUND STRAIT (GULF OF FINLAND) DURING HYDROENGINEERING
WORKS

State Research Institute on Lake and River Fisheries, St. Petersburg, Russia, olgamaximova@mail.ru

В последние десятилетия на акватории Финского залива активно ведутся гидростроительные работы. В 2013 г. в проливе Бьеркезунд проводили реконструкцию гидротехнических сооружений ОАО «ЦМКБ «Алмаз» (реконструкцию площадки кораблей динамического принципа поддержания; устройство плавучего причала; ре-

конструкцию существующего мола путем подсыпки скального грунта). Эти работы проводились на берегу у уреза воды и мало затрагивали акваторию пролива. Для оценки воздействия перечисленных работ на водные биологические ресурсы Финского залива в 2013 г. были выполнены три гидробиологические съемки: до начала работ, во время проведения работ и по окончании работ, в рамках которых исследовали фитопланктон.

Видовой состав фитопланктона исследованной акватории был обычен для восточной части Финского залива и представлен в основном широко распространенными пресноводными эврибионтными формами. Число таксонов составило 46, число видов – 29, большую часть из них составляли диатомовые, зеленые и синезеленые. Ядро ценозов на всей обследованной акватории формировали нитчатые синезеленые водоросли. В состав преобладавших по численности или по биомассе видов входили колониальные синезеленые *Planktothrix agardhii*, *Limnothrix planctonica*, *Planktolyngbya subtilis*, *Aphanizomenon flos-aquae*. Все эти виды характерны для Финского залива.

До начала основных гидротехнических работ в июле численность фитопланктона на обследованной акватории варьировала от 1,27 до 6,51, в среднем составляя 4,11 млн кл./л. Биомасса фитопланктона составляла 0,79-2,87, в среднем – 1,55 г/м³. По численности на всех станциях доминировали синезеленые водоросли (74 %), представленные в основном нитчатыми *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*. Основу биомассы составляли диатомовые (54%), при доминировании *Aulacoseira islandica* и *Melosira varians*, а также криптофитовые (23%) водоросли, представленные в основном родом *Cryptomonas*. Сравнивая данные участков акватории расположенных в месте планируемого проведения работ с показателями на участках, расположенных вне зоны работ, следует отметить, что на станциях в зоне предполагаемых работ наблюдается более высокая численность и биомасса, за счет защищенности данных участков молом от волнового воздействия. Видовой состав существенно по станциям не изменялся.

Во время гидростроительных работ в августе численность фитопланктона по станциям варьировала от 3,44 до 9,96 (в среднем 6,44 млн кл./л), биомасса – от 1,58 до 2,42 (в среднем 1,90 г/м³). Основу численности на всех станциях составляли синезеленые водоросли (79 %) представленные в основном нитчатыми *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*, *Anabaena flos-aquae*, *Planctolyngbya subtilis* и *Limnothrix planctonica*. Основу биомассы составляли диатомовые (38%), в основном – *Aulacoseira islandica*, *Cyclotella* sp., и криптофитовые (20%) из рода *Cryptomonas*. Сравнивая показатели обилия фитопланктона на станциях, расположенных в зоне работ, с таковым на станциях, находящихся вне зоны работ, следует отметить, что более высокая численность и биомасса, как и в июле, наблюдалась на станциях в зоне работ, за счет защищенности данных участков молом от волнового воздействия. Видовой состав по станциям существенно не изменялся.

Таким образом, распределение и видовой состав фитопланктона в августе, во время ведения гидротехнических работ практически не отличалось от такового во время фоновой съемке в июле, что свидетельствует об отсутствии видимого влияния гидротехнических работ на фитопланктон.

В сентябре, когда гидротехнические работы отсутствовали, отмечен осенний пик развития фитопланктона. Численность фитопланктона в среднем составила 54,7 млн кл./л., биомасса – 3,19 г/м³, что значительно выше показателей, наблюдаемых в летний период. По численности и биомассе доминировали синезеленые водоросли (95 % и 73%, соответственно) представленные в основном нитчатыми *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii* и *Limnothrix planctonica*. Евгленовые водоросли составляли 12% общей биомассы и были представлены в основном р. *Trachelomonas*, диатомовые – 11%. Основную биомассу диатомовых, создавали

Melosira lineata, *Skeletonema costatum*, *Cyclotella* sp. Зеленые составляли 3% общей биомассы и были представлены *Monoraphidium contortum* и р. *Scenedesmus*. Остальные группы водорослей составляют менее 1% общей биомассы. Сравнивая показатели фитопланктона на акватории, расположенной вблизи участков проведения работ, с таковыми вне зоны работ, следует отметить, что численность и биомасса на станциях в зоне работ и на контрольных станциях близки. Это свидетельствует об отсутствии видимых последствий влияния проведенных здесь ранее гидротехнических работ. То же относится и к структуре фитоценозов на обследованных участках. Данный факт может быть следствием кратковременности негативного воздействия и широкой связи района работ с прилегающей акваторией пролива, что способствует пополнению и восстановлению утраченных форм.

Таким образом, в ходе исследований было выявлено, что в районе проведения работ в прибрежье пролива Бьеркезунд видовой состав и количественные показатели фитопланктона характерны для близких по гидродинамическим и морфометрическим параметрам участков и не выходят за пределы сезонных и межгодовых колебаний. Негативного влияния гидротехнических работ на фитопланктон не выявлено. Возможно, оно не прослеживается на фоне сезонных изменений в развитии фитопланктона. По-видимому, влияние на фитопланктон гидротехнических работ, проводящихся на берегу у уреза воды и мало затрагивающих акваторию водного объекта, выражено в меньшей степени, чем сезонные изменения.

С.В. Малавенда

ДОННЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Мурманский морской биологический институт Кольского НЦ РАН, г. Мурманск, Россия,
malavenda@yandex.ru

S.V. Malavenda

BOTTOM PHYTOCENOSSES OF THE KOLA BAY (BARENTS SEA)

Murmansk marine biological institute Kola science center RAS, Murmansk, Russia, malavenda@yandex.ru

Кольский залив представляет собой залив фьордового типа в юго-западной части Баренцева моря (Мурманский берег). Его общая протяженность 58,7 км, и он морфологически делится на три колена (северное, среднее и южное). Кольский залив в основной массе не замерзающий. Основная часть пресного стока поступает в южное колено залива. Соленость в основном морская, только поверхностная водная масса распресняемая. Динамика вод залива определяется приливно-отливными течениями (Кольский залив..., 1997). Населенные пункты сосредоточены на берегах южного колена и северо-западной части. Основными видами антропогенного воздействия считаются судоходство (комплекс факторов, в том числе нефтепродуктов), поступление поллютантов с пресными водами.

Бентосные фитоценозы распространены вдоль всей береговой линии Кольского залива в литорали и сублиторали до глубины 25-30 м. Исследование донной растительности было проведено в начале XX века, затем на протяжении долгого времени район был недоступен. В последние годы изучение экосистем залива возобновилось и позволило выявить черты поврежденного водоема. Данная работа содержит сведения о видовом разнообразии водорослей-макрофитов Кольского залива и пространственно-видовой структуре фитоценозов. Материал был отобран в южной части залива в 2008–2013 гг. и по акватории залива в 2013 г. Отбор проб проводили методом вертикальных трансект, в сублиторали пробы были отобраны водолазными специалистами.

В Кольском заливе нами обнаружено 90 видов водорослей-макрофитов. Все они являются типичными для Мурманского побережья Баренцева моря. Фитогеографический состав флоры Кольского залива является типичным для субарктической зоны. Бореально-арктические и высокобореально-арктические виды предстале-

ны примерно равным количеством, по массе преобладают бореально-арктические многолетние виды – фукусовые и ламинариевые. Виды, которые были отмечены за период наблюдений в наиболее интенсивно эксплуатируемых районах залива, можно считать устойчивыми к данному уровню антропогенного воздействия. Выделено 24 таких вида. Наиболее обильны из них бурые (роды *Fucus* и *Pylaiella*) и зеленые водоросли (роды *Ulva*, *Ulvaria*). Видовая насыщенность (число видов на единицу площади) в более эксплуатируемой части залива снижается. В южном колене за период 2009–2012 гг. в среднем было обнаружено 11 ± 6 видов/м², в среднем колене (на западном берегу) – 12.0 ± 1.0 видов/м², а в экологически чистом районе – 22.0 ± 2.0 вида/м². Видовое разнообразие литорального макрофитобентоса, выраженное индексом Шеннона, увеличивается от распресняемого кута к центральной части залива (восточный берег) и снижается на подверженных прибою берегах устья.

Биомасса литоральных фитоценозов залива сходна с данными для экологически чистых районов. В южном колене в 2009–2012 гг. (летний период) биомасса литоральных фитоценозов составляла в среднем 5.0 ± 1.8 кг/м², на участках литорали с преобладанием рыхлых грунтов – 3.2 ± 2.3 кг/м², валунных – 5.1 ± 2.0 кг/м². В губе Ярнышная средняя биомасса на защищенной от прибою литорали составляла 5.5 ± 2.0 кг/м². Основная биомасса сосредоточена в поясе фукоидов на среднем горизонте литорали. Так, на мысе Чирковый в сообществах *Fucus vesiculosus* L. биомасса составляла 10.0 ± 1.2 кг/м², *F. distichus* L. – 7.4 ± 1.4 кг/м². Из литературных данных известно, что в 1999 г. отмечалась пониженная биомасса фукоидов в южном колене залива (Завалко, Шошина, 2009). Наибольшая биомасса ламинариевых в sublиторальных фитоценозах отмечена в северном колене (до 12 кг/м²), а на большей части южного и среднего колена средняя биомасса ниже 5 кг/м². В южном колене массовая доля ламинариевых водорослей составляет 20–50%, что ниже типичных для Мурманских значений. Анализ соотношения различных синузид в фитоценозах Кольского залива выявил снижение биомассы эпифитов фукоидов в южной части залива. Биомасса эпифитов в экологически чистом районе Мурманска (губе Ярнышная) при сходных гидрологических условиях составляет в среднем 43.08 ± 23.14 г/м², а в изученных участках Кольского залива – только 0.42 ± 0.30 г/м². Снижено также соотношение биомассы эпифиты/базифит. В составе эпифитов в Кольском заливе выявлено только 3 вида, преобладает эврибиотный однолетний вид *Pylaiella littoralis*.

Таким образом, при антропогенном воздействии в фитоценозах Мурманска упрощается их пространственно-видовая структура: снижается видовое разнообразие, биомасса, число видов синузид эпифитов.

Завалко С.Е., Шошина Е.В. Многоуровневая морфофизиологическая оценка состояния фукусовых водорослей в условиях антропогенного загрязнения (Кольский залив Баренцева моря) // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11, № 3. С. 423-431.

Зинова Е.С. Водоросли Мурманска. Введение. Зеленые и красные водоросли. Тр. СПб. об-ва естествоиспыт. 1912. Т. 23, Вып. 23, Ч. 1. С. 170-343,

Зинова Е.С. Водоросли Мурманска. Часть II. Бурые водоросли. Тр. СПб об-ва естествоиспыт., 1914. Т. 44–45, вып. 3, № 4. С. 212–326.

Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты / Коллектив авторов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. 265 с.

Новые технологии мониторинга природных процессов в зоне взаимодействия пресных и морских вод (биологическая индикация). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2009. 262 с.

И.А. Мальцева

СУКЦЕССИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛАХ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Мелитопольский государственный педагогический университет им. Богдана Хмельницкого,
г. Мелитополь, Украина, maltseva_irina@ukr.net

I.A. Maltseva

SUCCESSION OF ALGAE ON INDUSTRIAL DUMPS OF DIFFERENT ORIGIN

Bogdan Khmelnytskyi Melitopol Pedagogical University, Melitopol, Ukraine, maltseva_irina@ukr.net

Антропогенное влияние на почву проявляется в ее техногенном нарушении при различных видах хозяйственной деятельности. Наибольшие по площади территории нарушены в результате добычи полезных ископаемых. Процесс их природного восстановления, как правило, очень медленный. Ускорение процессов регенерации или целенаправленное формирование экологически устойчивых и ценных в хозяйственном, природоохранном и эстетическом отношении природно-территориальных комплексов – главная цель рекультивационных работ. Известно, что среди организмов, которые первыми начинают биологическое освоение промышленных отвалов различного происхождения, обычно присутствуют водоросли. Разнообразие физиологических приспособлений, лабильность обмена веществ, высокая устойчивость к засухе, резким колебаниям влажности и температуры, инсоляции, засолению субстрата и др., обеспечивают им возможность существования в разнообразных экотопах, в том числе, на промышленных отвалах различного происхождения. Цель работы – выделение особенностей сукцессии водорослей при колонизации субстратов отвалов различного происхождения до и после проведения биологической рекультивации.

В 1990-2013 гг. нами изучались водорослевые сообщества отвалов, образующихся при добыче и обогащении железной руды (г. Кривой Рог), марганцевых руд (г. Орджоникидзе, г. Никополь), каменного угля (г. Павлоград, г. Донецк). Исследованные отвалы различались по характеру отвалообразования, составу пород, возрасту, степени зарастания, направлением биологической рекультивации. С учетом этих различий их можно разделить на три условные группы. 1. Отвалы, физико-химические свойства субстратов которых не способствуют их быстрому заселению живыми организмами – отвалы шахтной породы и отходов обогащения железных руд. 2. Отвалы, сложенные рыхлыми и скальными породами и постепенно зарастающие высшей растительностью – отвалы вскрышных пород при добыче железных и марганцевых руд. 3. Отвалы, где для стимуляции процессов восстановления почвенного и растительного покрова применялось землевание.

Крайне неблагоприятные условия для развития водорослей отмечены на отвалах шахтной породы. На поверхности 15-летней отсыпки обнаружено 7 видов водорослей преимущественно из отдела Chlorophyta. Первыми по поверхности шахтной породы появляются представители рода *Chlorella* Beijerinck. На терриконах, формирование которых началось в 1900 и 1904 гг. и завершилось в 1981 г., обнаружено 38 видов водорослей. Наиболее разнообразно представлены водоросли отдела Chlorophyta – 14 видов, Cyanophyta – 9, Bacillariophyta – 7, Xantophyta – 5 и Eustigmatophyta – 3 (Мальцева, 2006; Мальцева, Чайка, 2011).

Природное зарастание отвалов, сформированных отходами обогащения железных руд (хвостохранилища), усложнено постоянным ветровым перемещением субстратов, оплыванием, намывом новых слоев отходов. В результате на поверхности хвостохранилищ отмечается одновременное существование альгогруппировок на различных этапах сукцессии. Пионерные сообщества в зависимости от минералогического состава субстратов различных хвостохранилищ были представлены одноклеточными зелеными и эустигматофитовыми водорослями или нитчатыми синезелеными из рода *Phormidium* Kützing ex Gomont. На втором этапе сукцессии таксономический состав группировок несколько выравнивался через вселение синезеленых или зеленых и эустигматофитовых водорослей соответственно. На третьем этапе

появлялись мелкоклеточные диатомовые и нитчатые зеленые (Баранова, Мальцева, 2009).

Пионерные сообщества водорослей отвалов из железистых кварцитов, сланцев, суглинков и частично глин в первые 3–10 лет, согласно классификации В.В. Тарчевского и Э.А. Штины (1967), соответствуют аэрофитону и объединяют виды *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd, *Monodopsis subterranea* (B. Petersen) Hibberd, *Chlorococcum minimum* Ettl et Gärtner, *Tetracystis dissociata* Brown et Bold, *Scotiellopsis rubescens* Vinatzer, *Chlorella minutissima* Fott et Novakova, *Ch. vulgaris* Beijerinck. Двадцатилетний отвал характеризуется примитивным эпилифитоном, в состав которого входят нитчатые не фиксирующие азот синезеленые, коккоидные зеленые, желтозеленые, эвтигматофитовые и диатомовые водоросли (Мальцева, 2006).

Альгогруппировки лесных рекультивационных насаждений, созданных на шахтных отвалах, перекрытых насыпными грунтами различной стратификации и мощности, сформированы преимущественно видами Chlorophyta, что характерно для фитоценоза природных лесных биогеоценозов. В 35-летних насаждениях на отвалах из смеси красно-бурых, серо-зеленых глин и лессовидных суглинков не развивается типичный для лесов комплекс почвенных водорослей. Альгогруппировки характеризуются бедностью видового состава, высокой степенью доминирования отдельных представителей (Мальцева, 2006; Мальцева, Посредникова, 2011). Всего в лесных рекультивационных насаждениях было отмечено 173 вида водорослей: Cyanophyta – 41 (23,7 %), Eustigmatophyta – 6 (3,5%), Xanthophyta – 30 (17,3 %), Bacillariophyta – 9 (5,2%), Chlorophyta – 87 (50,3%).

На всех изученных отвалах водоросли являются инициаторами и участниками сингенеза растительности. Различия в гранулометрическом и минералогическом составе, показателях рН, содержании элементов питания и др. субстратов отвалов создали разные условия для формирования сообществ водорослей. Наиболее часто в составе пионерных альгогруппировок отмечены представители зеленых водорослей. Особенности последующих этапов сукцессии водорослей связаны с потенциальными возможностями экотопа и спонтанно формирующимся покровом из высших растений или с искусственно созданным в соответствии с выбранным направлением биологической рекультивации.

Баранова О.О., Мальцева І.А. Ґрунтові водорості хвостосховища та прилеглих територій на Криворіжжі // Ґрунтознавство. 2009. № 3-4. С. 93-98;

Мальцева І.А. Різноманіття ґрунтових водоростей лісових рекультиваційних екосистем півдня України // Екологія та ноосферологія. 2006. № 1-2. С. 46-50.

Мальцева І.А., Посредникова А.В. Вивчення альгофлори деревних насаджень рекультивованого вугільного відвалу шахти Свято-Серафимівська (Донецька область) // Чорноморський ботанічний журн. 2011. № 2. С. 187-193.

Мальцева І.А., Чайка Н.І. Почвенные водоросли отвала угольной шахты Донецкой области // Біологічний вісник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. 2011. № 3. С. 47-56.

Тарчевский В.В., Штина Э.А. Развитие водорослей на промышленных отвалах // Современное состояние и перспективы изучения почвенных водорослей в СССР. Киров. 1967. С. 146–150.

Н.Ю. Метелева

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕТНЕГО ЭПИФИТОНА ВОДОЕМОВ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, п. Борок, nimet@ibiw.yaroslavl.ru

N.Yu. Meteleva

PRODUCTIVITY OF SUMMER EPIPHYTON IN THE UPPER VOLGAE RESERVOIRS

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, nimet@ibiw.yaroslavl.ru

Водоросли перифитона вносят существенный вклад в суммарную первичную продукцию водоемов: во многих озерах – до 40%, в водотоках – до 70% (Макаревич,

2005). Фитоперифитон активно участвует в процессах самоочищения водоемов, служат пищевым ресурсом беспозвоночных и рыб, ему принадлежит главная роль в процессах обмена вещества и энергии между литоральной и пелагиальной зоной водоемов. Несмотря на важную роль этой экологической группировки в формировании структуры и функционировании водных экосистем, водоросли перифитона исследованы в значительной меньшей степени, чем водоросли планктона и бентоса, что препятствует формированию целостного представления о структуре и функционировании водных экосистем (Протасов, 1994).

Пробы эпифитона в водохранилищах Верхней Волги отбирали в августе 2005 и 2013 гг. (Иваньковском, Угличском) с тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.), камыша озерного (*Scirpus lacustris* L.), хвоща приречного (*Equisetum fluviatile* L.), кубышки желтой (*Nuphar lutea* (L.) Smith). 2010 и 2013 гг. – (Рыбинском) с *Phragmites australis*, *Scirpus lacustris* и кувшинки белой (*Nymphaea candida* (J.Presl.)). Сбор материала, его первичная обработка, определение фотосинтетических пигментов эпифитона описаны ранее (Метелева, 2001). Продуктивность эпифитона оценивали по содержанию хлорофилла *a*.

Температура воды в литорали Иваньковского и Угличского водохранилищ в августе 2013 г. изменялась от 21.2 до 25.0 °С, составляя в среднем 22.9 ± 0.3 °С и была выше, чем в 2005 г. соответственно на 3.0°С и 2.2°С. Прозрачность воды изменялась от 25 до 100 см/м² и была соответственно выше в 1.4 и в 1.3 раза по сравнению с 2005 г. В литорали Рыбинского водохранилища температура воды в 2013 г. была на 1.4°С ниже, чем в аномально жарком 2010 г., прозрачность воды в оба года наблюдения была примерно одинаковой (52 ± 5 и 48 ± 2 см). Глубина отбора проб эпифитона варьировала в пределах 25–150 см.

Содержание основного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a* (Хл *a*) эпифитона в августе 2013 г. изменялось от 1.19 до 37.13 мг/м² при наиболее часто встречаемых 11–26 мг/м² (59% общего числа значений в Иваньковском водохранилище, 1.5–6.5 мг/м² (83%) - в Угличском и 1.7– 8.0 мг/м² (86%) – в Рыбинском. Содержание Хл *a* эпифитона в Иваньковском и Угличском водохранилищах в августе 2005 г. и в Рыбинском (2010 г.) варьировало в более широком диапазоне 1.2 – 95.2 мг/м². В Иваньковском водохранилище 58, а в Угличском – 40% всех значений приходилось на величины 10–30 мг/м², а в Рыбинском 67% всех значений превышали 20 мг/м².

Значительную часть пигментного фонда естественных субстратов составлял Хл *a*, относительное количество которого составляло более 80% суммы хлорофиллов (*a+b+c*). Среднее содержание дополнительных хлорофиллов в фонде зеленых пигментов колебалось от 6 до 14% для Хл *b* и от 6 до 13% для Хл *c*. Относительное содержание продуктов распада хлорофилла – феопигментов варьировало от 1 до 55% и в среднем составляло от 22 до 34%, что аналогично предыдущим годам наблюдения (Метелева, 2013). Между содержанием каротиноидов (К) и Хл *a* существовала тесная связь с коэффициентом корреляции (*r*) 0.96–0.99, *p*<0.01. Отношение к К/Хл *a* эпифитона в составляло 0.52–1.04, в среднем 0.65–0.81, значения пигментного индекса E_{480}/E_{664} 0.62–1.18, соответственно 0.80–0.92. Вариабельность содержания Хл *a* эпифитона в литорали Иваньковского и Рыбинского водохранилищ характеризовалась умеренной степенью изменчивости (*Cv* 59–70), а Угличского - сильной (*Cv* 83–105%) (Лакин, 1968).

В литорали водохранилищ Верхней Волги (по данным августа лет наблюдения) прослеживается тенденция к убыванию содержания Хл *a* эпифитона в ряду хвощ – тростник – камыш. По данным вегетационных сезонов 1985 и 1988 гг. в Иваньковском и Угличском, 2010 и 2013 гг. в Рыбинском водохранилищах наблюдалась несколько иная картина интенсивности обрастания макрофитов (Метелева, 2013). Ва-

риации интенсивности развития эпифитона в водоемах Верхней Волги обуславливались различиями гидрометеорологических условий лет наблюдения, а также связанными с ними особенностями гидрологических и гидрохимических условий в местах произрастания макрофитов.

Полученные в 2013 г. данные свидетельствуют, что содержание хлорофилла эпифитона увеличивалось от менее продуктивных по уровню трофии водоемов (Угличское, Рыбинское), составляя соответственно 6.64 ± 2.83 и 6.36 ± 1.42 мг/м² к более продуктивному Ивановскому водохранилищу (14.21 ± 2.21 мг/м²). Похожая картина наблюдалась и в августе предыдущих лет (2005 и 1985 гг.), когда содержание Хл а эпифитона Ивановского водохранилища было выше, чем Угличского (в 1.2 и 3 раза соответственно). Аналогичная картина прослеживалась и по данным ряда лет сезонных наблюдений в водоемах Верхней Волги (Метелева, 2013). Концентрация Хл а эпифитона Рыбинского водохранилища в аномально жаркий 2010 г. в 4 раза была выше, чем в 2013 г.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1968. 284 с.

Макаревич Т.А. Вклад перифитона в суммарную первичную продукцию пресноводных экосистем (обзор) // Вестник Тюменского государственного ун-та. 2005. № 5. С 77-86.

Метелева Н.Ю. Эпифитон озера Неро // Биология внутр. вод. 2001. № 4. С 32–45.

Метелева Н.Ю. Структура и продуктивность фитоперифитона водоемов бассейна Верхней Волги: Автореф. дисс. канд. биол. наук. Борок, 2013. 22 с.

Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев: Наук. думка. 1994. 307 с.

Н.М. Минеева

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА ВОЛГИ

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия,
mineeva@ibiw.yaroslavl.ru

N.M. Mineeva

PRIMARY PRODUCTION CHARACTERISTICS OF THE VOLGA RIVER PHYTOPLANKTON

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, mineeva@ibiw.yaroslavl.ru

При исследовании фитопланктона традиционно рассматривают показатели, дающие представление об обилии и функционировании сообщества: биомассу (Б), содержание фотосинтетических пигментов, интенсивность фотосинтеза (Ф). Большую информационную нагрузку несут также различные соотношения этих параметров. Структурно-функциональные характеристики фитопланктона необходимы для оценки состояния водоемов, их трофического статуса и качества воды.

Водохранилища, своеобразные водные объекты с высокой динамичностью развития, исследованы в меньшей степени, нежели озера, в силу непродолжительного периода их существования. Крупнейшая река Европы Волга в настоящее время преобразована в каскад из восьми крупных относительно мелководных водохранилищ, которые различаются морфометрическими характеристиками, интенсивностью водообмена, проточностью, объемом боковых поступлений, трофическим статусом. Результаты многолетних исследований (Минеева, 2004, 2009) показывают, что при среднем содержании основного пигмента зеленых растений хлорофилла а (Хл) <10 мкг/л Угличское, Саратовское, Волгоградское, а также сопредельное с каскадом северное Шекснинское водохранилища характеризуются как мезотрофные, Рыбинское и Куйбышевское (10–15 мкг/л) – умеренно эвтрофные, Ивановское, Горьковское и Чебоксарское (>15 мкг/л) – эвтрофные. Фитопланктон продуцирует до 90% первичного органического вещества в экосистеме волжских водохранилищ. Эвфотная зона, в пределах которой создается основной фонд первичной продукции, в среднем составляет от 2.6 ± 0.1 до 3.9 ± 0.1 м и в 2.4–2.7 раза превышает прозрачность воды. Все водохранилища характеризуются высоким фотосинтезом, который обеспечивается повышенным обилием фитопланктона эвтрофных участков, повышенной асси-

миляционной активностью хлорофилла мезотрофных акваторий, а также достаточной обеспеченностью водорослей биогенным питанием на всем протяжении каскада. Максимальный фотосинтез достигает 3–6 мг O_2 /(л × сут) в мезотрофных водохранилищах и 7–11 мг O_2 /(л × сут) в эвтрофных, при этом средние величины различаются незначительно и составляют 2–3 мг O_2 /(л × сут) во всех водоемах.

Фотосинтез волжского фитопланктона, тесно связанный с факторами среды, в наибольшей степени зависит от температуры воды, содержания биогенов и хлорофилла (коэффициент корреляции $r = 0.45–0.60$, $p < 0.05$). Достоверная связь фотосинтеза с прозрачностью, степенью насыщения воды кислородом, рН воды, содержанием взвеси ($r = -0.38–0.68$) свидетельствует о том, что продукционные процессы оказывают заметное влияние на условия среды, регулируя, в частности, световой и газовый режим водоемов. Осредненные величины интегральной первичной продукции возрастают от 2–2.5 г O_2 /(м² × сут) в водохранилищах Верхней и Средней Волги до 3–3.5 г O_2 /(м² × сут) в более глубоких водохранилищах Нижней Волги, где с увеличением прозрачности увеличивается глубина фотосинтезирующего слоя. Эффективность использования солнечной энергии в процессах фотосинтеза достигает 0.55–1.0% суммарной падающей радиации, составляя в среднем для водоемов от 0.13% (Чебоксарское) до 0.54% (Волгоградское). Значительная протяженность каскада с севера на юг от южной тайги до полупустыни объясняет тесную связь первичной продукции водохранилищ с географической широтой ($r = -0.83$). Интегральная деструкция чаще превышает первичную продукцию, что указывает на гетеротрофный характер функционирования экосистем, принимающих значительный приток аллохтонного ОВ. Судя по величинам индекса зрелости, предложенных М.Е. Виноградовым и Э.А. Шушкиной (1983), экосистемы волжских водохранилищ находятся в состоянии, близком к «равновесному»

($\theta = -0.1–+0.2$). Поддержанию данной функциональной стадии способствуют энергетические субсидии в виде проточности, поступлений с водосбора, ветрового воздействия. Процессы синтеза и деструкции ОВ в водохранилищах Волги находятся в тесной связи друг с другом и тесном взаимодействии с факторами внешней среды, оказывая влияние на формирование условий обитания гидробионтов. Связь продукционно-деструкционных процессов с географическим положением водохранилищ, их морфологическими и морфоэдафическими характеристиками демонстрирует единство системы «водоем – водосбор».

Содержание хлорофилла позволяет выражать биомассу водорослей в единицах этого важнейшего компонента растительной клетки. В водохранилищах Волги зависимость между хлорофиллом и биомассой чаще аппроксимируется линейными уравнениями с коэффициентами детерминации $R^2 = 0.60–0.81$, а среднее для водохранилищ отношение Хл/Б колеблется от 0.19% сырой массы в Саратовском до 0.56% в Горьковском. Отношение Хл/Б составляет $0.49 \pm 0.02\%$ в эвтрофных Ивановском, Горьковском, Чебоксарском водохранилищах, но снижается до $0.38 \pm 0.03\%$ в мезотрофных Шекнинском, Угличском, Саратовском, Волгоградском, умеренно эвтрофных Рыбинском и Куйбышевском. В альгоценозах разного состава более высокие Хл/Б отмечены при преобладании зеленых водорослей. По многолетним данным в Рыбинском водохранилище средневегетационные величины Хл/Б демонстрируют тенденцию к увеличению от 0,22 до 0,78% за период 1969–1984 гг. и до 0,89% в 2006 г. Подавляющее большинство величин Ф/Б и Р/В-коэффициентов в слое максимального фотосинтеза в течение вегетационного сезона (Рыбинское и Шекнинское водохранилища), независимо от состава альгоценозов, не превышает 2, а Р/В-коэффициенты в столбе воды близки к единице. Повышенные значения наблюдаются в периоды весенне-летней сезонной депрессии в развитии фитопланктона. Время удвоения биомассы водорослей составляет 1.0–1.3 сут. Суточные ассимиляционные числа (САЧ), интерес к которым связан с использованием расчетного метода опре-

деления первичной продукции, колеблются от минимальных для отдельных водохранилищ 20–170 до максимальных 295–580 мгО₂/мг Хл. Пределы сезонных изменений САЧ составляют от 10–725 мгО₂/мг Хл в Шекснинском и 11–350 мгО₂/мг Хл в Рыбинском водохранилищах при максимальных в летний период. Увеличение САЧ отмечается в мезотрофных водах по сравнению с эвтрофными, а также в южных водохранилищах, по сравнению с северными. Показатели удельной фотосинтетической активности зависят от плотности водорослей, температурных условий, а отношение Хл/Б - от состава сообществ, что обуславливает высокую вариабельность рассматриваемых соотношений. Достаточно четкая изменчивость продукционных характеристик по градиенту трофии определяет их индикаторную значимость.

Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004, 156 с.

Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.

И.В. Митропольская
РАЗВИТИЕ ФИПЛАНКТОНА ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, mitr@ibiw.yaroslavl.ru

I.W. Mitropolskaya
DEVELOPMENT OF PHYTOPLANKTON IN THE OPEN PART OF RYBINSK RESERVOIR
IN MODERN PERIOD

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, mitr@ibiw.yaroslavl.ru

С момента наполнения Рыбинского водохранилища и до наших дней можно выделить три этапа формирования фитопланктона, различающиеся показателями численности и биомассы. В настоящее время продолжается 3-й этап, длящийся с 1997 г., характеризующийся некоторым понижением обилия фитопланктона.

В составе доминирующих видов произошли изменения – некоторые виды развивались не столь обильно, как в предыдущие годы, доля других, напротив, увеличилась. Шесть постоянно доминировавших в 1980-х гг. видов в последнее время вновь развиваются в массовых количествах (Митропольская, 2011, 2012а, б). Так, весной 2013 г. в фитопланктоне Волжского плеса доминировали, как и в 1980-е гг., представители диатомовых *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Aulacoseira ambigua* (Grun.) Sim., *Fragilaria ulna* (Nitzsch.) Lange-Bert., *F. ulna* (Nitzsch.) Lange-Bert. *acus-Sippen*, *Nitzschia paleacea* Grun., *N. vermicularis* (Kütz.) Hantsch. (Митропольская, 2012б). В Главном плесе в конце весны состав доминант был еще более разнообразным и пространственно неоднородным: в центральной части к диатомовым (*Skeletonema* sp. Grev., *Asterionella formosa* Hass., *Nitzschia acicularis* (Kütz.) W. Smith) присоединялись хлорококковые (*Pediastrum duplex* Meyen), в зоне влияния шекснинских вод преобладали жгутиковые формы зеленых и криптоноад (*Chlamydomonas* sp. Ehr. и *Cryptomonas* sp. Ehr.), над затопленными торфяниками фитопланктон составляли хлорококковые и хламидомонады (*Chlamydomonas* sp. и *Scenedesmus longispina* Chod.), в зоне влияния моложских вод – представители р. *Aulacoseira* Sim. (*A. islandica* (O. Müll.) Sim. и *A. granulata* (Ehr.) Sim.)

К началу лета в составе доминант произошли изменения: в Волжском плесе диатомовые были дополнены представителем хлорококковых *Scenedesmus longispina* и синезеленых *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., в Главном последний развивался в заметном количестве лишь в зоне влияния моложских вод. Диатомовые и зеленые сохранили свое значение, в полидоминантный комплекс вошли перидинеи.

В июне-начале июля содержание синезеленых в планктоне Волжского плеса увеличивалось, из представителей других групп в речной его части доминировала

лишь *Aulacoseira granulata*. Состав синезеленых расширился – кроме *Aphanizomenon flos-aquae* в массе развивались представители р. *Anabaena* – *A. planctonica* Brunnth., *A. spiroides* Kleb. и *Microcystis wesenbergii* (Kom.) Kom. in Kondr. В Главном плесе в этот период, в отличие от 1980-х гг., наряду с представителями синезеленых в фитопланктоне преобладали диатомовые, криптомонады и хлорококковые. *Aphanizomenon flos-aquae* главенствовал в центре открытой части, в зоне влияния моложских вод он сопровождал *Microcystis wesenbergii*, Kütz. emend. Elenk. (Митропольская, 2012а). В начале июля количество доминант сократилось, в основном, фитопланктон состоял из *Aphanizomenon flos-aquae*, в зоне влияния шекснинских вод к нему присоединялся *Pediastrum duplex* Meyen, над торфяниками – *Gloeoetrichia natans* (Hedw.) Rabenh. К концу июля фитопланктон Волжского плеса стал монодоминантным, в речной его части преобладал *Microcystis wesenbergii*, на границе с Главным плесом – *Aphanizomenon flos-aquae*. В Главном плесе *Aphanizomenon flos-aquae* составлял основу биомассы фитопланктона в его центре и зоне влияния моложских вод, над торфяниками – *Microcystis aeruginosa*. С конца июля до середины октября в Волжском плесе массово развивались представители синезеленых, возбудители «цветения» воды. В начале августа в полидоминантные комплексы фитопланктона Главного плеса на непродолжительное время вновь вошли диатомовые, представленные *Actinocyclus normanii* (Greg.) Hust. В зоне затопленных торфяников в качестве субдоминанта выступал представитель хлорококковых *Sphaerocystis planctonica* (Korsch.) Bourr. В зоне влияния моложских вод фитопланктон почти нацело состоял из *Aphanizomenon flos-aquae*. В августе и сентябре в этом плесе, так же, как и в Волжском, наблюдалось «цветение» воды. На протяжении августа фитопланктон состоял из *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis wesenbergii*, *M. aeruginosa*. Доля последних к осени сократилась, во второй половине сентября они исчезли из фитопланктона. К середине октября диатомовые в заметном количестве появились и в Волжском плесе, к синезеленым присоединились *Actinocyclus normanii* и *Aulacoseira islandica*. В Главном плесе диатомовые в полидоминантных комплексах были представлены *Stephanodiscus binderanus* (Kütz.) Krieg. и *Fragilaria capucina* Desm.

Резких различий по составу доминирующих видов между плесами, как и в предыдущие годы, не установлено, что подтверждается и высоким (0.75) значением индекса Чекановского-Серенсена (Митропольская, 2012а, б). В целом по группам водорослей весной в обоих плесах развивались диатомовые, уровень их биомассы был невысок. Спад в развитии водорослей при смене весенних видов летними в вегетационный период 2013 г. в том и другом плесах наступил в начале июня, биомасса измерялась десятными долями мг/л.

Уже в конце июня стало заметно присутствие синезеленых, в Волжском плесе их обилие было выше, оставаясь относительно невысоким. С третьей декады июня до середины сентября продолжалось «цветение» воды, вызываемое представителями синезеленых водорослей, не превышавшее уровня умеренного. В Волжском плесе в первой декаде июля биомасса фитопланктона, слагаемая синезелеными и зелеными водорослями, достигала 4.2, в Главном – 2.4 мг/л. Состав доминант был идентичен (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis wesenbergii*, *M. aeruginosa*). Биомасса зеленых в этот период равнялась 0.2 мг/л. Во второй половине месяца интенсивность «цветения» в Волжском плесе несколько уменьшилась, в Главном сохранилась на том же уровне, за счет чего биомасса фитопланктона стала практически одинаковой (2.8 и 2.9 мг/л соответственно). В начале августа при том же видовом составе доминирующих видов в Волжском плесе биомасса возросла до прежнего уровня, в Главном – сократилась, составив 3.9 и 1.5 мг/л соответственно. В третьей декаде августа величина биомассы в том и другом плесах вновь была практически равна, к началу сентября она возросла в Волжском плесе до 2.6, в Главном – до 7.1 мг/л. В Волжском плесе развивались криптофитовые, создавая биомассу величи-

ной 0,2 мг/л. Максимальная биомасса в зоне влияния шекснинских вод достигала 12 мг/л. Основу биомассы в центральной части водохранилища создавал *Aphanizomenon flos-aquae*, в Волжском плесе он доминировал лишь на границе с Главным, так что можно заключить, что осенний подъем биомассы фитопланктона обусловлен развитием именно этого вида. Осенью биомасса фитопланктона плавно шла на спад, составив к середине октября 0.7 мг/л в Волжском плесе и 1.0 в Главном. Осенний подъем биомассы диатомовых был невелик.

Средневегетационная биомасса фитопланктона для открытой части водохранилища в вегетационный период 2013 г. составила 2.01 ± 0.33 , для Волжского плеса – 1.87 ± 0.43 мг/л, для Главного – 2.08 ± 0.45 . По сравнению с показателями 1980-х лет биомасса фитопланктона практически не изменилась по-видимому, это объясняется стабилизацией развития фитопланктона в последние годы (Митропольская, 2012а, б). Средневегетационные показатели обилия фитопланктона участков открытой части водохранилища стали практически равны. Вновь в качестве доминант выступают водоросли, доминировавшие из года в год еще в прошлом веке (Митропольская, 2012а). Количественное развитие диатомовых в последнее время очень невелико – 5 % в Волжском и 7 в Главном плесе от средневегетационной величины биомассы, но видовой состав доминант пополняется таксонами диатомовых водорослей (*Nitzschia paleacea* Grun., *N. acicularis* (Kütz.) W. Smith, *Fragilaria capucina* Desm.). Вновь в фитопланктоне в заметных количествах присутствовали криптофитовые водоросли. Таким образом, по уровню развития фитопланктона, по соотношению основных таксономических групп водорослей, по характеру сезонной динамики Рыбинское водохранилище по-прежнему можно отнести к водоемам мезотрофного типа.

Митропольская И.В. Фитопланктон Рыбинского водохранилища в 2010 г. // Матер. IV Международ. науч.-пр. конф. «Актуальные проблемы экологии». Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2011. С. 42–43.

Митропольская И.В. Многолетний мониторинг Рыбинского водохранилища по фитопланктону его открытой части // Матер. конф. «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века». Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2012а. С.135-136.

Митропольская И.В. Фитопланктон открытой части Рыбинского водохранилища в 2011 г. // Матер. V Международ. науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы экологии». Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2012б. С. 57–58.

С.Л. Неходимова, Н.В. Фомина, М.В. Чижевская
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЧВ ЛЕСНЫХ
ПИТОМНИКОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск, Россия,
nehodimova@mail.ru

S.L. Nekhodimova, N.V. Fomina, M.V. Chizhevskaya
FEATURES OF CYANOBACTERIAL STRUCTURE CHANGES IN FOREST NURSERY SOILS
OF EASTERN SIBERIA

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, nehodimova@mail.ru

Современное изучение цианобактерий (синезеленых водорослей) способствовало формированию представлений об их необычных адапционных свойствах и разнообразии экологических связей, которые необходимо изучить и использовать в практических целях (Гайсина, 2013; Домрачева, 2005; Кондакова, 2012; Трефилова, 2008). В настоящее время цианобактерии стали широко использовать в аrobiотехнологических опытах по сохранению потенциального и увеличению эффективного плодородия почвы, прежде всего, – благодаря наличию у них азотфиксации и широкому спектру адаптации к различным почвенным и гидротермическим условиям. Биотехнологические преимущества заключаются в том, что используются дешевые среды для культивирования (отсутствие в среде органических соединений и источников минерального азота) и быстрое накопление биомассы цианобактериями даже

в экстенсивных культурах, не требующих дорогого оборудования. Практический аспект сосредоточен на изучении их действия на растения и возможности составления на их основе активных препаратов. Установлено, что цианобактериальные консорциумы можно использовать для борьбы с грибной инфекцией овощных, зерновых и хвойных культур, вызываемой видами рода *Fusarium*. Предлагаются новые формы и методы внесения биопрепаратов на основе цианобактерий, новые технологические методы культивирования цианобактериальных консорциумов, новые методы санации почв и растений с помощью цианобактерий, что соответствует современным требованиям экологизации земледелия (Трефилова, 2008).

Исследованиями многих российских ученых установлено, что синезеленые водоросли толерантны к широкому спектру антропогенных воздействий, поэтому могут быть использованы как индикаторы степени различных нарушений почвы, а также для оценки процессов восстановления почвенной биоты после нарушений (Дубови, 1997; Штина, 1984). Одной из задач современных биоценологических исследований является выяснение механизмов поддержания равновесного состояния экосистем и особенностей пространственно-временной организации таких структур как консорции, где синезеленые водоросли выступают в роли детерминантов (Закирова, 2006; Кабиров, 2007; Шмелев, 2007). В настоящее время сведения о таксономическом составе синезеленых водорослей в антропогенно-измененных почвах на территории Красноярского края до сих пор отрывистые, при этом их биоценологическая роль в некоторых случаях может быть ценообразующей, поэтому нашей задачей стало изучение цианобактериального состава почв лесных питомников Восточной Сибири.

Материалом исследования послужили 25 смешанных образцов почвенных проб, отобранных классическими альгологическими методами (Кузяхметов, 2001). Для определения видовой принадлежности использовали определители пресноводных водорослей СССР и зарубежные определители. При составлении списка видов ориентировались на систему из работы (Костиков, 2001) и сайт <http://algaebase.org>. Все исследования проводились на территории Восточной Сибири в трех лесопитомниках, расположенных в Красноярской лесостепи.

Сухобузимский лесопитомник (93 °в.д., 56 ° с.ш) расположен в зоне травяных лесов с островами лесостепи. Агроклиматические условия умеренно-прохладные и избыточно-увлажненные, средняя температура января -20– -22 ° С, июля +18 °С; почва – тяжелые суглинки, обеспеченность гумусом и подвижным фосфором высокая, калием повышенная, рН = 6.7. Большемуртинский лесопитомник площадью 3-8 га расположен на территории Большемуртинского района, имеет длительный срок эксплуатации. Выращиваемые породы – сосна, кедр, ель. Зимние температуры здесь выше, удаленность от крупных рек обуславливает засушливость климата, по сравнению с Енисейском, что в совокупности с высокой испаряемостью дает периодически промывной тип водного режима ($KU > 1$). В весенне-летней период коэффициент увлажнения в данном районе близок к Енисейскому (0.64-0.73). Почва агро-темногумусовая легкоглинистая. Содержание гумуса в поверхностном слое 6-7%, рН = 6.0. Обеспеченность гумусом очень хорошая, кальцием - хорошая, магнием - средняя, подвижным фосфором - средняя, калием – хорошая. В Маганском лесопитомнике преобладают серые лесные почвы (С – 6.2 %; N – 0.29 %; легкогидролизуемый азот по Корнфильду – 19.6 мг/100 г почвы; рН солевой вытяжки – 5.3; рН водной – 6.1).

Альгоценозам агроэкосистем степной и степной зон присуща значительная степень мозаичности (Кузяхметов, 2006). Она определяется в основном фитосредой культурных растений, способом и частотой обработки почвы, внесением и дозой удобрений и ядохимикатов, степенью равномерности их распределения на поверхности почвы и т.д. Развитие водорослей зависит от частоты обработки почвы в течение вегетационного периода и в последующие годы, а также от водорослевого пула поч-

вы. Численность, биомасса и видовое богатство в сериальных сообществах в сукцессионном ряду от паровых, пропашных и яровых до озимых полей и посевов многолетних трав увеличиваются.

Цианобактерии в изученных почвах были представлены меньшим числом видов, чем зеленые водоросли, причем среди этой группы доминировали представители родов *Nostoc*, *Phormidium* и *Leptolyngbya*. Доминантами сообщества являются *Nostoc linckia*, *Phormidium autumnale*, *Ph. formosum*, виды родов *Klebsormidium flaccidum*. На первое-второе места выходят виды, образующие при благоприятных условиях тонкие слизистые пленки на поверхности почвы (С-форма). С-форма включает в себя азотфиксаторы, представленные на изучаемых полях видами *Cylindrospermum licheniforme*, *Nostoc punctiforme*, *N. linckia*, *N. paludosum*, *Tolypothrix tenuis*. Коэффициент флористической общности почв питомников, расположенных на территории Красноярской лесостепи, составляет 0.67.

Таким образом, комплекс цианобактерий в почвах исследуемых лесопитомников представлен видами *Phormidium autumnale*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Cylindrospermum licheniforme*, *Cylindrospermum* sp., *L. gracillima*, *Calothrix* sp., *Anabaena* sp., *Anabaena sibirica*, *Nostoc linckia* (Roth) Bornet et Flahault (Д), *N. microscopicum* Elenkin, *N. punctiforme* (Kützing) Hariot (Д).

Гайсина, Л.А. Анализ экологических закономерностей наземных цианобактериально-водорослевых флор с использованием традиционных и молекулярно-генетических методов. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Уфа, 2013. 41 с.

Домрачева, Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2005. 336 с.

Дубовик, И.Е., Сайфуллина З.Н., Шарипова М.Ю. Некоторые особенности развития водорослей в лесных экосистемах // Леса Башкортостана: современное состояние и перспективы: Матер. науч.-практич. конф. Уфа, 1997. С. 56, 57.

Закирова, З.Р. Синезеленые водоросли (цианобактерии) антропогенно-нарушенных почв и их консортивные связи: Дис. канд. биол. наук. Уфа, 2006. 210 с.

Кабиров Р.Р. Использование альгологических критериев при экологическом прогнозировании антропогенной нагрузки на наземные экосистемы // Успехи современного естествознания. 2007. № 3. С. 13.

Кондакова, Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности ее развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв подзоны южной тайги Европейской части России). Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.

Костіков І.Ю. и др. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори). Київ, 2001. 300 с.

Кузяхметов Г.Г., Дубовик И.Е. Методы изучения почвенных водорослей: Учебное пособие. Уфа: Изд-во Башкирского ун-та, 2001. 60 с.

Кузяхметов, Г.Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. Уфа, БашГУ, 2006. 286 с.

Трефилова Л.В. Использование цианобактерий в агробиотехнологии. Дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2008. 162 с.

Шмелев, Н. А., Кабиров Р.Р. Сообщества почвенных водорослей основных типов леса Южно-Уральского заповедника // Лесоведение, 2007. N 1. С. 20–27.

Штина, Э.А. Методы изучения почвенных водорослей // Сб. статей Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. М.: Наука, 1984. С. 58-74.

Anagnostidis, K., Komárek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales // Arch. Hydrobiol. Suppl., 1988. V. 80, №1-4. (Algological Studies, 50-53). P. 327–472.

Anagnostidis, K., Komárek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 5 – Stigonematales // Arch. Hydrobiol. Suppl. 1990. V. 86, (Algological Studies, 59). P. 1–73.

<http://algaebase.org>

Ж.Ф. Пивоварова, З.З. Багаутдинова
УЧАСТИЕ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОПРОКАРИОТ В ФОРМИРОВАНИИ ПИОНЕРНЫХ
БИОГЕОЦЕНОЗОВ НА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ СУБСТРАТАХ

Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия,
zulfir-a@yandex.ru

J.F. Pivovarova, Z.Z. Bagautdunova
PARTICIPATION OF SOIL ALGAE AND CYANOPROKARYTA IN THE FORMATION OF PIONEER
BIOGEOCENOSSES IN ANTHROPOGENICALLY DISTURBED SUBSTRATES

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia, zulfir-a@yandex.ru

Одну из самых больших площадей лесной зоны в России занимают таежные леса, на долю которых приходится около 95% всех лесных территорий нашей страны (Тиходеева, 2011). В составе почвенной биоты хвойных лесов активным компонентом являются почвенные водоросли. Исследования почвенной альгофлоры проведены в подзоне южной тайги Западной Сибири на территории Колыванского района Новосибирской области в мохово-лишайниковом сосняке на подзолистых почвах. В зоне западно-сибирской тайги подпочвами (грунты) служат моренные отложения песка разного рода, покровные суглинки и супеси, лессовидные суглинки и даже лесс (Берг, 1947). В пределах этого лесного сообщества с 1980–1990 гг. в промышленных масштабах проводились работы по добыче песка. Глубина вскрытия верхнего слоя почвы составляла 2–3 м. К моменту проведения альгологических исследований с 2011 по 2013 гг. на данном участке восстановление лесного массива не произошло. Более того, еще сохранились обширные участки грунта, лишенные высших растений, и только по его периферии начинают появляться отдельные куртинки мха, лишайников и подрост сосны лесной. Пробы отбирали с открытых участков грунта и под куртинами мха в десятикратной повторности по общепринятой методике. Для выявления видового состава использовали чашечные культуры со стеклами обрастания.

Заращение участка по добычи песка может рассматриваться как натурную модель восстановления антропогенно нарушенных территорий. Всего на исследованном участке (на грунтах, лишенных высших растений, и подо мхом) обнаружен 51 вид и разновидность почвенных водорослей, из них 45 – номенклатурные виды. Наибольшее число видов обнаружено в отделах Chlorophyta и Xanthophyta, которые включают в себя в среднем от 30 до 35% всего видового состава, что характерно для лесных экосистем (Алексахина, 1984). Третью часть видового спектра (27.4%) составляют цианопрокариоты, что не характерно для лесных экосистем и, вероятно, указывает на относительно жесткие условия, связанные с добычей песка.

На песчаном грунте, лишенном высших растений, обнаружено 32 вида, из них цианопрокариоты – 43.7%, зеленые – 28.1%. Долевое участие зеленых водорослей более чем в 1.5 раза меньше, что может рассматриваться как показатель экстремальности условий среды. В аналогичных исследованиях, проведенных на намывных песках в карьере г. Новосибирска, на сухой песчаной пойме р. Шивилиг-Хем (Тува, степной кластер) получены сходные данные по соотношению ведущих отделов синезеленых и зеленых водорослей, однако с несколько большим превалированием синезеленых (Пивоварова и др., 2012). Исследование альгофлоры песков Саудовской Аравии также подтверждает превалирование среди цианопрокариот представителей родов *Phormidium*, *Schizotrix* и *Plectonema* (Alwathnani, 2011). Это свидетельствует о том, что существует определенная закономерность в соотношениях ведущих таксонов, как отражение с одной стороны зональности исследованных экосистем, а с другой - степени их нарушенности. Как указывают А.Г. Гаель и Э.А. Штина (1974), принципиальных различий между водорослями на песках и водорослями на зональных почвах сухих и пустынных степей нет.

Освоение субстрата значительно ускоряется с появлением первых высших растений (в данном случае куртинок мха), которые создают отличные от открытых уча-

стков микростатциальные условия. Подо мхом обнаружены типичные представители водорослей лесных экосистем из отделов Chlorophyta и Xanthophyta, которые включают от 37.5% до 62.5% соответственно. Коэффициент общности альгофлоры открытого участка и подо мхом составляет всего 10%. Общими видами для этих участков являются *Monodus chodatii* Pasch, *Botrydiopsis arhiza* Borsi., *Bumilleriopsis terricola* Matv., *Chlamydomonas atactogama* Korsch., *Ch.globosa* Snow. Важно отметить, что наибольшее число видов на песчаном грунте составляют цианопрокариоты (*Phormidium*, *Gloecapsa*, *Nostoc*) с небольшим дополнением представителей родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*. Важность доминирования цианопрокариот очевидна, так как они участвуют в закреплении подвижных песчаных грунтов и формировании первопочв.

Подо мхом развитаются виды из родов *Chlamydomonas*, *Chloridella*, *Monodus*, *Bumilleriopsis*. Сопоставление почвенных водорослей двух участков показывает, что подо мхом преобладают коккоидные формы (типичные представители лесной альгофлоры), а на открытом песчаном субстрате – колониальные и нитчатые водоросли, обладающие слизистыми чехлами, устойчивые к жестким условиям среды. Очевидно, что под микростациями мха и открытого участка формируются специфические условия, что вызывает и различные модели их освоения. Модель микростанции подо мхом носит более проработанный характер и может соответствовать инициальному биогеоценозу с тремя функциональными группами. Продуценты представлены водорослями, в звене консументов ведущую роль играют среди простейших голые амебы рода *Vahlkampfia*, из раковинных амеб - типичные бриофильные представители родов *Euglypha*, *Centropyxis*. Кроме того, обильно представлены нематоды и коловратки. Среди редуцентов отмечена богатая бактериальная флора и гифы аскомицетов.

Таким образом, на начальных этапах освоения антропогенно нарушенных субстратов лесных сообществ возникают инициальные биогеоценозы, способствующие более интенсивному их восстановлению.

- Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 149 с.
Берг Л.С. Географические зоны Советского Союза. М., 1947. 387 с.
Гаель А. Г., Штина Э. А. Водоросли на песках аридных областей и их роль в формировании почв // Почвоведение. 1974. № 6. С. 67–75.
Новичкова-Иванова Л. Н. Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. Л.: Наука, 1980. 256 с.
Пивоварова Ж.Ф., Факторович Л.В., Благодатнова А.Г. Особенности таксономической структуры почвенных фотоавтотрофов при освоении первичных субстратов // Растительный мир Азиатской России. 2012. № 1(9). С. 16–21.
Тиходеева М. Ю // Разнообразие лесов России: учеб. пособие. СПб.: Изд. Дом СПб. гос. ун-та, 2011. 156 с.
Alwathnani, H. Preliminary study of soil algae of protected saja mother elegans, mother elegans, saudi arabia // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2011. V. 8, № 2. P 385–392.

И.Л. Пырина
СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА А В БИОМАССЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ
ПРЕСНОВОДНОГО ФИТОПЛАНКТОНА

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия. pyrina@ibiw.yaroslavl.ru

I.L. Pyrina
CHLOROPHYLL A CONTENT IN THE BIOMASS OF SOME FRESHWATER
PHYTOPLANKTON SPECIES

I.D. Papanin Institute for biology of inland waters RAS, Borok, Russia, pyrina@ibiw.yaroslavl.ru

К настоящему времени существует много работ по изучению содержания хлорофилла в расчете на единицу биомассы фитопланктона. Однако сведения об уровне его величин для отдельных видов водорослей, позволяющие подойти к понима-

нию продукционных возможностей таксономически разнообразного фитопланктона, остаются единичными. В данной работе сделана попытка оценить этот показатель на основе результатов определения хлорофилла в монодоминантных сообществах фитопланктона, в которых один вид составлял более 80% общей биомассы. Эти материалы получены в ходе исследований первичной продукции в водоемах бассейна Волги: оз. Плещеево (Пырина и др., 1989), Куйбышевском и Рыбинском водохранилищах. Все исследования проводили с использованием единой методики определения хлорофилла и биомассы водорослей (Пырина и др., 1989). Содержание хлорофилла рассчитывали по отношению к общей биомассе, выраженной в объемных единицах. Ниже приведено содержание хлорофилла *a* в биомассе разных видов водорослей (средние или предельные величины, мкг/мм³) в исследованных нами водоемах, а также литературные данные для английских озер Loch Leven (Baily-Watts, 1978), Cross Mere, Blelham Tarn (Reynolds, 1984) и оз. Kinneret в Израиле (Berman, Pollinger, 1974; Yacobi et. al., 1996):

Синезеленые	
<i>Anabaena circinalis</i> (Cross Mere)	7.3
<i>A. flos-aquae</i> (Loch Leven)	5.0–8.8
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (Cross Mere)	4.9
<i>A. flos-aquae</i> (Куйбышевское водохр.)	3.3–8.4
<i>Microcystis aeruginosa</i>	4.9
<i>Oscillatoria agardhii</i> (Blelham Tarn)	5.2
<i>O. agardhii</i> (Loch Leven)	1.2–1.9
<i>O. redekei</i> (Loch Leven)	2.0–5.0
Динофитовые	
<i>Ceratium hirundinella</i> (оз. Плещеево)	0.4–1.7
<i>Peridinium cinctum</i> (Kinneret)	1.0–3.5
<i>P. gatunense</i> (Kinneret)	1.4–3.9
Диатомовые	
<i>Asterionella formosa</i> (Loch Leven)	2.7
<i>A. formosa</i> (Cross Mere)	3.4
<i>A. formosa</i> (Blelham Tarn)	3.2
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Loch Leven)	4.1–6.6
<i>A. granulata</i> (Cross Mere)	5.3
<i>A. islandica</i> (Рыбинское водохр.)	3.8–4.2
<i>A. islandica</i> (оз. Плещеево)	4.7–5.6
<i>Diatoma elongatum</i> (Рыбинское водохр.)	0.9–1.2
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (Рыбинское водохр.)	2.8–4.0
<i>S. hantzschii</i> (Cross Mere)	1.5
<i>S. rotula</i> (Cross Mere)	6.9
<i>S. rotula</i> (Loch Leven)	2.9–5.6
<i>S. rotula</i> (оз. Плещеево)	1.4–2.4
Зеленые	
<i>Eudorina elegans</i> (Cross Mere)	17.2
<i>E. unicocca</i> (Blelham Tarn)	16.2
<i>Volvox aureus</i> (Cross Mere)	18.3
<i>Ankyra judayi</i> (Blelham Tarn)	18.8
<i>Dictiosphaerium pulchellum</i> (Loch Leven)	6.0–2.8
<i>Closterium aciculare</i> (Blelham Tarn)	19.7

Приведенные данные свидетельствуют о достаточно близких пределах колебания содержания хлорофилла у исследованных представителей синезеленых (1–9 мкг/мм³) и диатомовых водорослей (1–7 мкг/мм³), пониженном его уровне у динофитовых (0.4–4.0 мкг/мм³) и наиболее высоком у зеленых (6–20 мкг/мм³). Для всех от-

делов водорослей прослеживается сходство этого показателя у разных видов. Для некоторых видов (*Asterionella formosa*, *Aulacoseira islandica*) установлено близкое содержание хлорофилла по результатам, полученным в различных водоемах, с использованием разных процедур обработки проб. Аналогичные результаты, показывающие одинаковое содержание хлорофилла *a* (мкг/мм³) в биомассе синезеленых и диатомовых, но в 3–4 раза более высокое у зеленых, получены на культурах водорослей (Пырина, Елизарова, 1971). При этом и общий уровень величин для водорослей в культуре оказался таким же, как у природных популяций:

<i>Anabaena scheremetievi</i>	4.1–4.9
<i>A. spiroides</i>	2.7
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1.4–1.7
<i>Microcystis aeruginosa</i>	2.8
<i>M. wesenbergii</i>	1.4–4.1
<i>Asterionella formosa</i>	1.5–2.9
<i>Diatoma elongatum</i>	0.9
<i>Fragilaria capucina</i>	1.9–2.2
<i>Stephanodiscus hantzchii</i>	1.5– 3.6
<i>Tabellaria fenestrata</i>	1.8–4.5
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	1.8–15.1
<i>Chlamydomonas sp.</i>	15.5–17.4
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	6.3–9.9
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	16.9.

Полученные данные подтверждают отмечаемое в литературе сходное содержание хлорофилла в фитопланктоне с доминированием синезеленых и (или) диатомовых водорослей и повышенное — при увеличении доли зеленых (Елизарова, 1993). Результаты проведенной работы свидетельствуют о существовании таксономической обусловленности содержания хлорофилла в биомассе отдельных видов планктонных водорослей и необходимости исследований в этом направлении.

- Елизарова В.А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Методические вопросы изучения первичной продукции планктона внутренних водоемов. Л.: Гидрометеиздат. 1993. С. 126–130.
- Пырина И.Л., Елизарова В.А. Спектрофотометрическое определение хлорофиллов в культурах некоторых водорослей // Биология и продуктивность пресноводных организмов, Л.: Наука, 1971. С. 56–65.
- Пырина И.Л., Сигарева Л.Е., Балонов И.М. Фитопланктон и его продукционная способность // Экосистема озера Плещеево. Л.: Наука, 1989. С. 71–114.
- Baily-Watts A.E. A nine-year study of the phytoplankton of the eutrophic and non-stratifying Loch Leven (Kinross, Scotland) // J. Ecol., 1978. V. 66. P. 741–771.
- Berman T., Pollinger U. Annual and seasonal variations of phytoplankton, chlorophyll and photosynthesis in Lake Kinneret // Limnol., Oceanogr. 1974. V.19. P. 31–54.
- Yacoby. Y.Z., Pollinger U., Gonen Y., et al. HPLC analysis of phytoplankton pigments from Lake Kinneret with special reference the bloom-forming dinoflagellate *Peridinium gatunense* (Dinophyceae) and chlorophyll degradation products // J. Plankton Res., 1996. V. 10. P. 781–796.
- Reynolds C.S. The Ecology of Freshwater Phytoplankton. Cambridge. CUP, 1984. 384 p.

А.Г. Русанов

**ЛОКАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ
ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПЕРИФИТОНА В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ**

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, a_rusanov@yahoo.com

A.G. Rusanov

**LOCAL AND REGIONAL FACTORS INFLUENCING THE COMMUNITY STRUCTURE
OF PERIPHYTIC DIATOMS IN LAKE LADOGA**

Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia, a_rusanov@yahoo.com

Несмотря на достигнутый за последние десятилетия прогресс в понимании закономерностей формирования видовой структуры гидробионтов, выявить механизмы, ответственные за динамику структурной организации природных сообществ, не

всегда удается. Прежде всего, это связано с тем, что традиционно при исследовании сообществ основное внимание уделяется влиянию локальных абиотических факторов среды, в то время как видовой состав и структура сообществ в значительной степени регулируется и региональными факторами, связанными с расселением организмов. Понимание роли распространения организмов в регуляции видовой структуры привело к формулированию основных принципов организации многовидовых ассоциаций в рамках концепции мета-сообщества (metacommunity). Мета-сообщество представляет собой набор локальных сообществ, связанных между собой посредством пассивного переноса или активной миграции потенциально взаимодействующих видов (Leibold et al., 2004). Учет региональных факторов, влияющих на скорость расселения организмов, позволяет более точно оценить роль локальных абиотических условий в формировании структуры многовидовых ассоциаций.

Отдельным важным вопросом стоит степень участия региональных процессов в формировании видовой структуры сообществ одноклеточных организмов, таких как диатомовые водоросли. Принято считать, что диатомовые водоросли благодаря микроскопическим размерам и высокой скорости размножения не испытывают ограничений в пассивном расселении на большие расстояния (Finlay et al., 2002; Fenchel, Finlay, 2004), поэтому видовая структура сообществ диатомей регулируется исключительно локальными факторами среды.

Однако в последнее время получены убедительные свидетельства того, что пространственное распределение диатомовых водорослей в значительной степени зависит от региональных факторов (Vyverman et al., 2007; Verleyen et al., 2009; Heino et al., 2010). Было показано также, что для функционально-экологических групп диатомовых водорослей, различающихся характером прикрепления к субстрату, относительная роль локальных и региональных факторов в контроле пространственного распределения определяется различиями в их расселении (Liu et al., 2013). В целом, значение региональной составляющей в структурной организации мета-сообществ диатомовых водорослей возрастает с увеличением масштаба исследований, что объясняется ограничением распространения водорослей, а также увеличением роли исторических и эволюционных процессов на территориях, являющихся объединением крупных биогеографических регионов (Soininen, 2007).

В данной работе проведена оценка относительной роли локальных и региональных факторов в формировании всего мета-сообщества и отдельных экологических групп диатомовых водорослей перифитона в литорали Ладожского озера. Пробы перифитона отбирали на 36 станциях, охватывающих все три геоморфологических района Ладоги: северный шхерный район, район открытых берегов восточного и западного побережья и мелководный южный район. Из абиотических факторов учитывали концентрацию общего фосфора, электропроводность, pH и температуру воды. В качестве региональных (пространственных) переменных использовали географические координаты (широта и долгота) станций отбора проб. Для оценки относительного вклада локальных абиотических факторов и региональных переменных в структуру сообщества использовали частный анализ канонических корреляций, выполненный в программе CANOCO (ter Braak, Smilauer, 2002). В анализе использовали 151 вид диатомовых водорослей. Все виды по характеру прикрепления к субстрату были объединены в четыре группы согласно классификации (Rimet, Bouchez, 2012). Из них две группы составляли сильно прикрепленные к субстрату диатомеи: прилегающие (*Achnanthisidium*, *Cocconeis*, *Planothidium* и др.) и вертикальные (*Eunotia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Staurosira* и др.) формы. Две другие группы образовывали слабо прикрепленные диатомеи: подвижные (*Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella* и др.) и планктонные (*Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus* и др.) формы.

Частный анализ канонических корреляций, выполненный на основе обилия 151 вида, показал, что региональные факторы наряду с локальными факторами вносят

статистически значимый вклад в изменчивость видовой структуры всего сообщества. Локальные абиотические факторы (общий фосфор, электропроводность и температура воды) отвечали за основную часть изменчивости структуры (на их долю приходилось 59% объясненной вариабельности структуры), а региональные факторы составляли 41%. Анализ изменчивости структуры, выполненный отдельно для экологических групп диатомовых водорослей, показал, что вклад региональных факторов значительно возрастал в группе слабо прикрепленных диатомей, изменяясь от 51% (подвижные формы) до 63% (планктонные формы). У сильно прикрепленных диатомей вклад региональных факторов снижался, варьируя от 24% (прилегающие формы) до 31% (вертикальные формы).

Несмотря на небольшой пространственный масштаб проведенного исследования, достаточно высокий вклад региональных факторов в изменчивость видовой структуры указывает на важную роль прибрежных течений в структурной организации диатомовых сообществ в литорали Ладоги. Пространственное распределение слабо прикрепленных диатомей сильнее зависит от прибрежных течений, чем распределение сильно прикрепленных диатомей. Полученные результаты отражают характерные особенности формирования мета-сообществ в крупных озерах, где благодаря интенсивному пассивному переносу видов между соседними местообитаниями может наблюдаться сходство в таксономическом составе ассоциаций, несмотря на различия абиотических условий (Leibold, Norberg, 2004).

Fenchel T., Finlay B.J. The ubiquity of small species: Patterns of local and global diversity // *BioScience*. 2004. V. 54, P. 777–784.

Finlay B.J., Monaghan E.B., Maberly S.C. Hypothesis: The rate and scale of dispersal of freshwater diatom species is a function of their global abundance // *Protist*. 2002. V. 153, P. 261–273.

Heino J., Bini L.M., Karjalainen S.M., et al. Geographical patterns of micro-organismal community structure: are diatoms ubiquitously distributed across boreal streams? // *Oikos*. 2010. V. 119, P. 129–137.

Leibold M.A., Holyoak M., Mouquet N. et al. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology // *Ecol. Lett.* 2004. V. 7, P. 601–613.

Leibold M.A., Norberg J. Biodiversity in metacommunities: plankton as complex adaptive systems? // *Limnol. Oceanogr.* 2004. V. 49, P. 1278–1289.

Liu J., Soininen J., Han B.-P., Declerck S.A.J. Effects of connectivity, dispersal directionality and functional traits on the metacommunity structure of river benthic diatoms // *J. Biogeogr.* 2013. V. 40, P. 2238–2248.

Rimet F., Bouchez A. Life-forms, cell sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers // *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* 2012. V. 406, P. 01.

Soininen J. Environmental and spatial control of freshwater diatoms – a review // *Diatom Res.* 2007. V. 22, P. 473–490.

ter Braak C.J.F., Smilauer P. *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Ithaca NY, USA: Microcomputer Power, 2002. 500 pp.

Verleyen E., Vyverman W., Sterken M., et al. The importance of dispersal related and local factors in shaping the taxonomic structure of diatom metacommunities // *Oikos*. 2009. V. 118, P. 1239–1249.

Vyverman W., Verleyen E., Sabbe K., et al. Historical processes constrain patterns in global diatom diversity // *Ecology*. 2007. V. 88, P. 1924–1931.

А.Ф. Сажин, В.М. Сергеева, С.А. Мошаров, Н.Д. Романова

**АЛЬГОЦЕНОЗЫ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА БЕЛОГО МОРЯ ПЕРЕД ЛЕДОСТАВОМ:
СТРУКТУРА, ТРОФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ, ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ**

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия, andreysazhin@yandex.ru

A.F. Sazhin, V.M. Sergeeva, S.A. Mosharov, N.D. Romanova

**ALGAECENOSES OF THE WHITE SEA PLANKTON COMMUNITY BEFORE FREEZE-UP: STRUCTURE,
TROPIC CONNECTIONS, PRODUCTION**

P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia, andreysazhin@yandex.ru

В прибрежных экосистемах высоких широт активность организмов всех уровней, в том числе и микробиоты, наиболее высока в весенние, летние и осенние месяцы, а наиболее низкая – в зимний период. В переходные периоды от зимы к весне

и от осени к зиме, когда резко меняется температура, освещенность, гидродинамический режим, структура и функционирование экосистемы исследованы крайне слабо. Для окраинных морей Арктики, в частности, для Белого моря, это особенно важно во время ледостава, а также непосредственно после вскрытия водоемов ото льда.

По нашей гипотезе, именно в периоды смены сезонов возрастает роль микробных пищевых сетей, и основные потоки энергии проходят через бактерии, миксотрофные и гетеротрофные водоросли и через других простейших. Роль автотрофного фитопланктона в функционировании экосистемы пелагиали существенно ниже. Немногочисленные оценки обилия и продуктивности планктонных организмов в межсезонье показывают, что роль микробиоты в продукционно-деструкционных процессах шельфовых экосистем в периоды смены сезонов может быть более значимой, чем принято считать. Эти периоды характеризуются резкими изменениями концентрации доступных пищевых ресурсов для миксотрофов и гетеротрофов, а именно растворенного органического вещества, основная часть которого осенью поступает из отмирающего фитопланктона.

Окончание вегетационного периода фитопланктона обычно относят к концу осени, когда развитие автотрофных водорослей лимитировано, главным образом, недостатком света, и в сообществах могут доминировать миксотрофные и гетеротрофные формы (Skovgaard, 1996; Lee et al., 2000; Skovgaard et al., 2000; Calbet et al., 2012). Сведения о структуре и функционировании микробиоты в поздне-осенний период, непосредственно перед ледоставом и в период формирования сезонных льдов в Белом море до настоящей работы отсутствовали. Исследования были выполнены 18–28 ноября 2013 г. в Кандалакшском заливе Белого моря в районе Биостанции МГУ им. Н.А. Перцова. Отбор проб воды был выполнен 1-л батометром Нискина. Первичную продукцию измеряли радиоуглеродной модификацией скляночного метода (Stemann Nielsen, 1952). Флуориметрическим методом измеряли исходную и максимальную флуоресценцию, относительную переменную флуоресценцию, содержание хлорофилла *a* и феофитина. Был проведен учет автотрофного и гетеротрофного пико-нано- и микропланктона. Параллельно определяли общее обилие бактерий, бактериальную продукцию и концентрацию бактерий с активной электронтранспортной цепью.

В период исследований ночная температура воздуха колебалась в пределах -12 – -5 °С, днем воздух прогревался до -7 – -2 °С. Поверхностная температура моря за время проведения экспедиции снизилась с +4 – +5° С до +0,2 – 0° С. Термоклин находился на глубине 20–30 м. Продолжительность светлого времени составляла около 5 ч. Суммарная суточная освещенность в период исследований составляла всего 0,25 моль фотонов/(м² сут). На литорали в отлив намерзала ледяная корка. В самом прибрежье в 20-х числах ноября в воде начал образовываться лед снежного генезиса. Общая численность бактерий менялись в пределах 260–475 тыс. кл./мл, т.е. были относительно высокой. Доля активно дышащих клеток при этом была низкой, варьируя от 8 до 17% общей численности бактерий, что свидетельствует о слабой функциональной активности бактериопланктона в этот период. Основная часть бактерий находилась в неактивном состоянии и не принимала участия в функционировании планктонной микробиоты.

В конце ноября первичная продукция и хлорофилл характеризовались низкими величинами (не более 0.065 мкгС/(л ч) и 0.085 мкг/л, соответственно). Водоросли содержали высокий процент феофитина (54–64%). Переменная флуоресценция и фотоакклиматизационный индекс были очень низкими, то есть характеризовали собой низкую потенциальную активность фитопланктона.

Видовой состав планктонных водорослей характеризовался рядом особенностей. Среди пико- и нанопланктона преобладали одиночные цианобактерии, числен-

ность мелких автотрофных форм не на много превышала обилие гетеротрофных жгутиковых. Более крупные диатомовые водоросли при относительно широком видовом богатстве по численности менее чем в 2 раза превышали концентрацию гетеротрофных перидиней. *Synechococcus* spp был довольно обилён в поверхностных водах, его численность доходила до 800 кл./мл. Из других мелких автотрофных водорослей постоянно встречались *Micromonas pusilla* (максимальная численность 80 кл./мл) и *Dicrateria inornata* (не более 20 кл./мл). Другие автотрофные виды были малочисленны: *Plagioselmis prolunga*, *Teleaulax acuta*, *Chrysochromulina* spp. Суммарная численность мелких автотрофных форм (с учетом цианобактерий) не превышала 1000 кл./мл. Общее количество мелких гетеротрофных жгутиковых было не более 50 кл./мл. Чаще других встречались *Gyrodinium* spp. (8–12 мкм в длину), *Monosiga marina* (5–10 мкм), *Leucocryptos marina* (12–15 мкм), *Gyrodinium lachryma* (10–20 мкм). Диатомовые водоросли были представлены более чем 60 видами. Наиболее обычными в пробах были *Chaetoceros concavicornis*, *Melosira arctica*, *Navicula* spp., *Paralia sulcata*, *Rhabdonema arcticum*, *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* spp. Суммарная численность диатомей была низкой и, как правило, не превышала 100 кл./л. Перидиниевые водоросли были наиболее многочисленны лишь в виде спор, их численность могла достигать 150–200 кл./л. Среди перидиней преобладали гетеротрофные формы, суммарная численность которых могла превышать 50 кл./л. Чаще других встречались *Protoperidinium brevipes* и *Katodinium glaucum*. Среди миксотрофных перидиней наиболее обычным был *Dinophysis arctica*.

Соотношение автотрофных и гетеротрофных форм, видовой состав фитопланктона, результаты измерений физиологической активности клеток, а также данные по бактериальной и первичной продукции свидетельствуют о высокой роли микрогетеротрофных и низкой роли автотрофных организмов в функционировании, как микробной пищевой сети, так и всей планктонной экосистемы перед ледоставом.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-05-0028, 14-0531505, 140531057 и Программы фундаментальных исследований № 23 Президиума РАН

Е. Г. Сахарова, Л. Г. Корнева

ФИТОПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ВОЛЖСКОГО ПЛЕСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, katya.sah@mail.ru

E. G. Sakharova, L. G. Korneva

PHYTOPLANKTON IN THE VOLGA REACH LITTORAL ZONE OF THE RYBINSK RESERVOIR

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, katya.sah@mail.ru

Прибрежное мелководье представляет собой экотон между водосбором и открытой частью водоема. В этом биотопе формируется своеобразный фитопланктон, который характеризуется особенностями состава, а также структуры и динамики альгоценозов. Цель исследования – сравнительная оценка таксономического состава, сезонной динамики и пространственного распределения фитопланктона на разнотипных прибрежных мелководьях и глубоководном участке Рыбинского водохранилища, а так же оценка многолетних изменений в литорали водоема.

Исследование проводили в мае – сентябре 2009 г. и апреле – июне 2010 г. на защищенном и открытом мелководье Волжского плеса и глубоководном участке Рыбинского водохранилища, расположенном против с. Коприно (ст. Коприно).

В фитопланктоне защищенного побережья обнаружен 261 таксон рангом ниже рода, в открытом побережье – 198, в глубоководной зоне – 128. На участке защищенного мелководья наибольшее видовое богатство было отмечено среди зеленых (Chlorophyta) и эвгленовых (Euglenophyta.) водорослей. Альгофлора открытого мелководья и глубоководной части водохранилища формировалась в основном за счет представителей зеленых и диатомовых (Bacillariophyta). Фитопланктон исследуемых

мелководий характеризовался высоким флористическим сходством (коэффициент Серенсена 0.70). Наибольшие различия в составе альгофлоры отмечены между защищенным мелководьем и глубоководной станцией Коприно (0.51).

Средневегетационная биомасса фитопланктона защищенного мелководья составила в 2009 г. 8.93 ± 2.45 г/м³, в 2010 г. – 5.87 ± 2.30 г/м³ и была сформирована в основном диатомовыми (24–30% общей биомассы), криптофитовыми (17–26%), эвгленовыми (18–26%), динофитовыми (10%) и зелеными (10–12%) водорослями. В открытом побережье биомасса фитопланктона была ниже, чем на защищенном и составила в среднем 7.70 ± 2.77 г/м³ в 2009 г. и 5.02 ± 1.74 г/м³ в 2010 г. Наибольший вклад в суммарную биомассу фитопланктона на этом участке вносили диатомовые (41–63%), криптофитовые (9–10%) и зеленые (8–11%) водоросли. Наименьшие значения биомассы были характерны для открытой части водохранилища (0.80 ± 0.52 г/м³ в 2009 г. и 3.98 ± 5.13 г/м³ в 2010 г.), где весь период наблюдений доминировали диатомовые водоросли (85%).

Сезонная динамика биомассы защищенного мелководья характеризовалась четырьмя подъемами. Поздневесенний пик был обусловлен доминированием диатомовых водорослей, в июне к ним присоединились криптофитовые и эвгленовые. Августовский максимум был составлен комплексом эвгленовых, зеленых, динофитовых и криптофитовых водорослей, осенний формировался в основном за счет криптононад и эвгленид. В открытом мелководье в сезонном ходе биомассы выявлено три подъема: поздневесенний и июльский, характеризовавшиеся доминированием диатомей, и августовский, обусловленный диатомовыми, синезелеными и криптофитовыми водорослями. В 2009 г. в пелагиали водохранилища в сезонной периодичности биомассы был отмечен весенний и летний максимумы, обусловленные преимущественно развитием диатомей. В 2010 г. весенний пик диатомовых водорослей зарегистрирован не был.

Для сезонной динамики биомассы защищенного мелководья за весь период наблюдений было характерно доминирование диатомовых, криптофитовых динофитовых и эвгленовых водорослей. В открытом мелководье и в глубоководной части водохранилища преобладали диатомеи.

Согласно шкале А.П. Китаева (2007), по значениям средневегетационной биомассы фитопланктона воды мелководий обоих типов характеризуются как эвтрофные, а в открытой части водохранилища – мезотрофные. Наибольшая биомасса была характерна для защищенного мелководья и уменьшалась по мере увеличения глубины. Биомасса миксотрофных фитофлагеллят: эвгленовых, криптофитовых и динофитовых водорослей наоборот снижалась в этом направлении. Сравнение с предыдущими данными (Приймаченко, 1959; Башкатова, 1976; Девяткин, Митропольская, 1979; Корнева, 1983; Соловьева, Корнева, 2006) показывает, что в 2009–2010 гг. биомасса фитопланктона на исследованных участках Рыбинского водохранилища варьировала в тех же пределах, что и ранее. Однако в прибрежном мелководье Волжского плеса отмечалось увеличение вклада в общую биомассу эвгленовых, криптофитовых и динофитовых водорослей. Увеличение роли видов, способных к миксотрофному питанию, связывают с ростом трофии вод (Sládečková, Sládeček, 1993). Несмотря на относительное многолетнее постоянство суммарной биомассы фитопланктона в прибрежном мелководье, по характеру изменения структуры альгоценозов можно отметить тенденцию к усилению процессов эвтрофирования.

Башкатова Е.Л. Фитопланктон прибрежной зоны Рыбинского водохранилища по наблюдениям 1971–1972 гг. // Гидрологический режим прибрежных мелководий верхневолжских водохранилищ. Ярославль: Ин-т биологии внутр. вод АН СССР, 1976. С. 84 – 105.

Девяткин В.Г., Митропольская И.В. Фитопланктон и его фотосинтетическая активность в прибрежной зоне Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Флора и растительность водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск: Ин-т биологии внутр. вод АН СССР, 1979. С. 27–42.

Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробионтов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 395 с.

Корнева Л.Г. Планктонные альгоценозы побережья Рыбинского водохранилища // Пресноводные гидробионты и их биология. Л.: Наука, 1983. С. 38–51.

Приймаченко А.Д. Фитопланктон прибрежной зоны Рыбинского водохранилища // Тр. Ин-та биологии водохранилищ. 1959. Вып. 1 (4). С. 82–101.

Соловьева В.В., Корнева Л.Г. Структура и динамика фитопланктона мелководий и пелагиали волжского плеса Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2006. № 4. С. 34–41.

Sládečková A., Sládeček V. Bioindication within the aquatic environment // Acta Universitatis Carolinae. Environmentalica. 1993. V. 7. № 1–2. P. 3–69.

Л.А. Семенова
ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОБСКОЙ ГУБЫ

Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства, г. Тюмень, Россия,
ecology@gosrc.ru

L.A. Semenova
DIATOM ALGAE IN THE NORTHERN GULF OF OB

State Research-and-Production Fisheries Center, Tyumen, Russia, ecology@gosrc.ru

Обская губа – уникальный арктический эстуарный водоем, имеет важное рыбохозяйственное значение. Изучение фитопланктона проводили в северной части губы в осенний период 2013 г. Обследованы два участка: в начале октября – участок против мыса Ханарасалья ближе к западному берегу (южный), в конце сентября – северный в районе мыса Дровяной. Температура воды первого участка составила 3.0–6.5 °С, глубина – 0.4–16.0 м, разницы в солености воды по горизонтам не зафиксировано (0.4–0.6 ‰). На втором участке температура 0.9–4.7 °С, глубина 10.5–13.5 м, соленость воды в поверхностном горизонте – 1–6 ‰, в придонном горизонте – 2–24 ‰.

Пробы отбирали батометром Рутнера в поверхностном и придонном слоях воды на 37 станциях по стандартным методикам (Методика..., 1975; Руководство..., 1983). Пробы фиксировали 2 % раствором формалина и концентрировали методом отстаивания с последующим фильтрованием через мембранные фильтры «Владисарт» с диаметром пор 0.8 мкм.

Всего за период наблюдения было обнаружено 93 таксона водорослей рангом ниже рода, из них Cyanophyta – 8, Bacillariophyta – 52, Chlorophyta – 26. Единично встречены Cryptophyta и Dinophyta – по 2 вида, Chrysophyta, Euglenophyta, Xanthophyta – по 1 виду. Часть видов идентифицировать не удалось. В составе сообщества отмечены представители всех экологических групп водорослей. Наиболее типичными и массовыми видами диатомовых водорослей являются виды рода *Aulacoseira*, *Fragilaria*, *Cyclotella*. С продвижением на север появляются представители морской фауны *Thalassiosira* sp., *Chaetoceros* sp.

В альгофлоре южного участка Окской губы определено 50 таксонов диатомовых водорослей. Диатомеи доминировали как по численности (в среднем 63–100 % N), так и по биомассе (83–100 % B), за исключением одной станции (26 % N). Основной комплекс видов поверхностного горизонта практически не отличался от такового придонного горизонта: *Fragilaria pinnata* (до 79–84 % N и до 31–45 % B), *Aulacoseira granulata* (до 27–28 % N и до 54–58 % B), *Cyclotella comta* (до 20–56 % B), *Aulacoseira italica* (до 21–40 % N и до 20 % B). Численность и биомасса диатомовых исследованной акватории в конце октября составили 796–6466 тыс. кл./л и 407–2607 мг/м³.

В альгоценозе северного участка отмечено 35 таксонов диатомовых водорослей. Основу численности и биомассы, как и на южном участке, определяли диатомеи (в среднем 67–96 % N и 43–99 % B). Видовой состав руководящего комплекса практически не различался по горизонтам. Превалировали пеннатные диатомеи *F. pinnata* (до 92 % N и до 83 % B). Из центрических диатомей наиболее часто встречались *A. granulata* (до 13–16 % N и до 25–59 % B) и *C. comta* (до 14 % N и до 27% B). На станциях с высокой соленостью вод (11–23 ‰) появляются представители мор-

ской фауны *Thalassiosira sp.* (до 29–52 % B) и *Chaetoceros sp.* (до 16 % B). Численность и биомасса диатомовых водорослей в начале сентября колебалась от 122 до 441 тыс. кл./л и от 20 до 178 мг/м³. Количественные показатели развития диатомей были значительно ниже, чем на более южном участке.

Таким образом, анализируя результаты настоящего исследования, можно сделать вывод, что диатомовые водоросли доминируют в осеннем сообществе северной части Обской губы. Абсолютным доминантом по численности, а с продвижением на север и по биомассе является пеннатная водоросль *Fragilaria*. Из центрических диатомей значительный вклад в биомассу вносят пресноводные виды рода *Aulacoseira* и *Cyclotella*, а на станциях с высокой соленостью – солоноватоводные представители рода *Thalassiosira*. Количественные показатели колебались в широких пределах, что отражает пространственную неоднородность диатомового планктона на обследованных участках Обской губы. Наибольшая вегетация диатомей наблюдалась в мелководной зоне западного побережья против мыса Ханарасалья, минимальная – на станциях, где соленость вод была существенно выше критической, в районе мыса Дровяной.

Сравнивая полученные качественные и количественные характеристики диатомовых водорослей с данными 2012 г. (Семенова, 2013), можно отметить, что в целом доминируют те же виды, а распределение диатомового планктона по акватории губы имеет аналогичные закономерности.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 221 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоздат, 1983. С. 78–87.

Семенова Л.А. Осенний фитопланктон северной части Обской губы // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов. Тр. научн. конф., ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет». Калининград, 2013. С. 281–283.

С.Н. Семенова, С.К. Кудерский, В.Н. Шнар

ФИТОПЛАНКТОН КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОДУКТИВНОСТИ КАНАРСКОГО АПВЕЛЛИНГА

Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
г. Калининград, Россия, romsem@rambler.ru

S.N. Semionova, S.K. Kuderskiy, V.N. Shnar

PHYTOPLANKTON AS AN INDICATOR OF PRODUCTIVITY IN CANARY UPWELLING

Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kaliningrad, Russia, romsem@rambler.ru

Акватория исключительной экономической зоны (ИЭЗ) Исламской Республики Мавритании (ИРМ), расположенная на северо-западном побережье Африки, находится под влиянием Канарского апвеллинга и является районом традиционного крупномасштабного промысла планктоноядных рыб. С целью рационального ведения морского рыболовства немаловажное значение имеет знание закономерностей образования, пространственно-временной (сезонной и межгодовой) изменчивости положения продуктивных зон. Известно, что фитопланктон является продуцентом органического вещества в воде. Это позволяет широко использовать его для оценки продуктивности акваторий.

Цель работы состояла в выявлении разнообразия, структуры, уровня развития фитопланктона, трофического статуса вод и их изменчивости в условиях различного состояния апвеллинга на акватории ИЭЗ ИРМ. Материалом исследования послужили данные комплексной океанологической съемки на 24 станциях постоянного полигона в ноябре-декабре 2003–2012 гг. Параметры морской воды определялись на горизонтах с помощью зондирующего комплекса SBE-19. Пробы фитопланктона объемом 1 л отбирали в пределах наиболее продуктивного слоя воды 0–25 м. Сгущение осуществляли методом обратной фильтрации с помощью камеры Ю.И. Сорокина через нуклеопоровый фильтр с диаметром пор 1 мкм.

Период исследований относится к переходному сезону от теплого к холодному (Берников и др., 1993). Циркуляция в районе ИЭЗ ИРМ определяется влиянием холодного Канарского течения (КТ) и Северной ветви теплого Межпассатного противотечения (СВМПТ). В результате их взаимодействия формируется Сенегало-Мавританский гидрологический фронт. В исследуемый сезон середина области фронта (изотерма 24 °С) постепенно смещалась к югу от 20°48' до 13°45' с.ш. Таким образом, акватория района располагалась под преимущественным воздействием вод КТ.

Видовой состав фитопланктона становился разнообразнее от северного подрайона (20°30'-19°00' с.ш.) к южному (19–16° с.ш.), расположенному в зоне смешения вод КТ и СВМПТ. В фитопланктоне северного и южного подрайонов по числу видов преобладали Bacillariophyta, что характерно для богатых биогенными элементами зон подъема вод. Планктонная флора шельфа обоих районов характеризовалась наибольшим числом видов. С увеличением глубины, над континентальным склоном, видовой состав фитопланктона существенно обеднялся, что подтверждалось относительно невысокими коэффициентами видового сходства Серенсена. Индекс видовой разнообразия Шеннона, рассчитанный по численности, по мере ослабления апвеллинга в среднем снижался от северного подрайона к южному и от шельфа к континентальному склону. В количественной структуре фитоценоза происходили существенные пространственно-временные изменения. На шельфе северного подрайона в условиях стабильно активного развития апвеллинга («свежий» и «развивающийся») (Семенова, Кудерский, 2011), под влиянием устойчивого северо-восточного пассата, главной ценозообразующей составляющей альгофлоры являлись Bacillariophyta. На остальной акватории активизация подъема вод способствовала доминированию в общей численности Bacillariophyta, ослабление его («нисходящий» или «затухающий») вызывало интенсификацию вегетации Dinophyta и Chrysophyta соответственно. Максимальный уровень развития фитопланктона в северном подрайоне зафиксирован в 2012 г. (в среднем 283 ± 61 млн кл. \cdot м⁻³), в южном – в 2005 г. (в среднем 277 ± 53 млн кл. \cdot м⁻³). Повышенная трофность вод, в среднем соответствующая мезо-евтрофному (Оксиюк и др., 1994) разряду (110–500 млн кл. \cdot м⁻³), наблюдалась в Северо-Мавританской продуктивной зоне (шельф северного подрайона), обусловленной двумя первыми фазами апвеллинга под влиянием устойчивого северо-восточного пассата. Аналогичная продуктивность отмечена в Южно-Мавританской продуктивной зоне (шельф южного подрайона), соответствующей участку активного подъема вод. Однако под влиянием межгодовой изменчивости северо-восточного пассата и состояния апвеллинга ее площадь и местоположение варьировали. Категория трофности на континентальных склонах подрайонов под воздействием значительной изменчивости состояния апвеллинга в условиях существенной межгодовой вариабельности северо-восточного пассата претерпевала значительные изменения: от олиготрофного (менее 20 млн кл. \cdot м⁻³) до олиго-мезотрофного (20–50 млн кл. \cdot м⁻³), мезотрофного (60–100 млн кл. \cdot м⁻³) и мезо-евтрофного разрядов. В 2012 г. площадь Южно-Мавританской продуктивной зоны из-за аномального понижения интенсивности пассата и, как следствие, значительной вариабельности состояния подъема вод («развивающийся» и «затухающий»), заметно сократилась. В результате снижения уровня развития фитопланктона, трофность вод в среднем на шельфе южного подрайона понизилась с мезо-евтрофного до мезотрофного разряда. Несмотря на заметную интенсификацию фитопланктона на континентальном склоне (в 1.8 раза), в целом по южному подрайону произошло ослабление вегетации планктонной альгофлоры и уменьшение трофического статуса с мезо-евтрофного разряда до мезотрофного. Среднеголетняя численность фитопланктона в исследованный сезон повышалась на шельфе северного (271 ± 85 млн кл. \cdot м⁻³) и южного (219 ± 69 млн кл. \cdot м⁻³) подрайонов, а также в целом на шельфе района (245 ± 78 млн кл. \cdot м⁻³). На континентальном склоне она существенно снижалась (98 ± 28 млн кл. \cdot м⁻³, 62 ± 17

млн кл. \cdot м⁻³ и 80 ± 22 млн кл. \cdot м⁻³ соответственно). Значения среднемноголетней численности в целом для северного (191 ± 47 млн кл. \cdot м⁻³) и южного (152 ± 36 млн кл. \cdot м⁻³) подрайонов недостоверно отличались между собой. В среднем по району ИЭЗ ИРМ этот показатель составил 172 ± 43 млн кл. \cdot м⁻³. В соответствии с уровнем развития фитопланктона воды на шельфах в целом по подрайонам и району ИЭЗ ИРМ в переходный сезон от теплого к холодному в 2003–2012 гг. относятся к мезоэвтрофному разряду мезотрофного класса. Это сопоставимо с состоянием южного подрайона ИЭЗ Королевства Марокко (Семенова, Кудерский, 2012) и в целом района ИЭЗ Республики Сенегал. Среднемноголетний трофический статус вдоль континентального склона ИЭЗ ИРМ оценен ниже: мезотрофный разряд мезотрофного класса. Аналогичная категория трофности вод ранее определена в среднем для района ИЭЗ КМ (Семенова, Кудерский, 2012).

Берников Р.Г., Букатин П.А., Демидов А.А. Обзор океанографических исследований, выполненных у атлантического побережья Королевства Марокко / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград, 1993. 66 с. Деп. науч. раб. (Естественные и точные науки, техники). Вып. 9 (263). Деп. в ВНИЭРХ, № 1243, рх 93.

Оксиюк О.П., Жданова Г.А., Гусынская С.Л., Головки Т.В. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Планктон // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30, №3. С. 26–31.

Семенова С.Н., Кудерский С.К. Фитоиндикация состояния апвеллинга у побережья Королевства Марокко и Исламской Республики Мавритании // Матер. V конф. по промысловой океанологии, посвящ. 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича. Калининград: АтлантНИРО, 2011. С. 213–217.

Семенова С.Н., Кудерский С.К. Особенности состояния фитопланктона у северо-западного побережья Африки // Тез. докл. междунар. конф. «Актуальные проблемы планктонологии». Калининград: АтлантНИРО, 2012. С. 27–29.

С.Н. Семенова, С.К. Кудерский, В.Н. Шнар
ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ И УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В
ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ СЕНЕГАЛ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТОЯНИЯ КАНАРСКОГО АПВЕЛЛИНГА

Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
г. Калининград, Россия, romsem@rambler.ru

S.N. Semionova, S.K. Kuderskiy, V.N. Shnar
TRANSFORMATION OF PHYTOPLANKTON STRUCTURE AND DEVELOPMENT IN EXCLUSIVE
ECONOMIC ZONE OF THE REPUBLIC OF SENEGAL IN TERMS OF VARIABILITY OF THE CANARY
UPWELLING STATE

Federal State Unitary Institution Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography,
Kaliningrad, Russia, romsem@rambler.ru

Промысловый район Исключительной Экономической Зоны (ИЭЗ) Республики Сенегал (РС) расположен у северо-западного побережья Африки в области влияния Канарского апвеллинга. Наиболее ценными и массовыми объектами промысла в этом районе являются рыбы-планктофаги. Фитопланктон представляет собой первое звено в цепи питания рыб и является непосредственной пищей планктоноядных. В АтлантНИРО исследования фитопланктона в районе ИЭЗ РС выполнялись впервые, в соответствии с двухсторонним Соглашением о сотрудничестве в области морского рыболовства между правительством Российской Федерации и РС. Цель настоящей работы заключалась в изучении видового состава, структуры, развития фитопланктона, трофности вод и их вариабельности на акватории района ИЭЗ РС в условиях изменчивости состояния апвеллинга.

Материалом работы послужили данные комплексной океанологической съемки на 31 станции в районе ИЭЗ РС в декабре 2012 г. Параметры морской воды на различных горизонтах определяли с помощью зондирующего комплекса SBE-19. Пробы фитопланктона отбирали в пределах наиболее продуктивного слоя воды 0–25 м. Концентрирование 1 л свежееотобранной пробы проводили с помощью камеры об-

ратной фильтрации Ю.И. Сорокина через нуклеопоровый фильтр с диаметром пор 1 мкм. В работе использованы общепринятые методы морской гидробиологии.

Исследованный период относится к переходному сезону от теплого к холодному (Берников и др., 1993), Гидрологический режим района определяется взаимодействием двух разнонаправленных течений: холодного Канарского (КТ) и Северной ветви теплого Межпассатного противотечения (СВМПТ). Середина области (изотерма 24°C) Сенегало-Мавританского гидрологического фронта (СМФ) в переходный от теплого к холодному сезон 2012 г. постепенно смещалась в южном направлении от 15°00' до 13°30' с.ш. В северном подрайоне (16°02'–14°44' с.ш.) выявлен «свежий» и «развивающийся» апвеллинг, в центральном (14°44'–13°45' с.ш.) отмечена «пестрота» в его состоянии, в южном подрайоне (13–12° с.ш.) подъем вод изменялся от «нисходящего» до «затухающего» (Семенова, Кудерский, 2011).

В районе ИЭЗ РС обнаружено 162 вида, вариетета и формы фитопланктона из 7 отделов. Ведущие места занимали Bacillariophyta – 77, Dinophyta – 56, а также Chrysophyta – 19. Флора остальных отделов (Cyanophyta – 1, Cryptophyta – 3, Euglenophyta – 1, Chlorophyta – 4) и сборной группы Flagellatae (1) – бедна. Наиболее многообразной (101 таксон) она оказалась в северном подрайоне, расположенного в зоне северной границы СМФ (22 °С), активного апвеллинга и области смешения вод КТ и СВМПТ. С ослаблением подъема вод в центральном подрайоне число видов снижалось до 89. В фитопланктоне южного подрайона, находящегося под влиянием СВМПТ и адвекции потока океанических вод, происходило значительное упрощение таксономического состава (59). Максимальное флористическое разнообразие повсеместно приурочено к участкам шельфа. В северном подрайоне и на северном участке шельфа центрального подрайона, в условиях «свежего» и «развивающегося» подъема вод, авангардное положение в видовом разнообразии и суммарной численности фитопланктона принадлежало Bacillariophyta. По мере «старения» апвеллинга в южном направлении и от шельфа к континентальному склону происходила существенная перестройка альгоценоза. Значение Bacillariophyta в планктоне центрального подрайона понижалось. В южном подрайоне под влиянием «нисходящего» и «угасающего» подъема вод руководящая роль в альгофлоре переходила соответственно к Dinophyta и Chrysophyta. Выявленная таксономическая структура фитопланктона в ИЭЗ РС оказалась типичной для районов Канарского апвеллинга на разных этапах его развития (Семенова, Кудерский, 2011).

В составе зарегистрированных планктеров обнаружено 13 видов и внутривидовых таксонов потенциально токсичных водорослей, в основном Bacillariophyta (7) и Dinophyta (5). По мере ослабления подъема вод степень вегетации фитопланктона значительно снижалась: от северного подрайона (192 ± 49 млн кл. \cdot м⁻³) к центральному (87 ± 17 млн кл. \cdot м⁻³) и южному (17 ± 3 млн кл. \cdot м⁻³). На шельфе северного подрайона в области воздействия «свежего» и «развивающегося» апвеллинга обнаружена обширная зона повышенного уровня вегетации (в среднем 254 ± 91 млн кл. \cdot м⁻³) фитопланктона (Северо-Сенегальская продуктивная зона), соответствующая мезоэвтрофному разряду мезотрофного класса (Оксиюк и др., 1994). Подобным статусом характеризовался северный участок шельфа центрального подрайона (Центрально-Сенегальская продуктивная зона). Существование продуктивной зоны на шельфе Дакарского залива (центральный подрайон) ранее отмечено в работе (Seguin, 1966). Уровень развития фитопланктона в среднем на шельфе центрального подрайона оказался ниже (107 ± 23 млн кл. \cdot м⁻³), как и трофность его вод (мезотрофный разряд мезотрофного класса). Категория трофности на шельфе центрального подрайона была сопоставима с ранее отмеченной на шельфе северного подрайона ИЭЗ Королевства Марокко и в целом на акватории ИЭЗ КМ в аналогичный сезон (Семенова, Кудерский, 2012). На шельфе южного подрайона вегетация фитопланктона еще более снижалась (в среднем 21 ± 6 млн кл. \cdot м⁻³). Трофность вод соответствовала олиго-

мезотрофному разряду олиготрофного класса. Наиболее слабое развитие планктонных водорослей под влиянием «нисходящего» и «угасающего» апвеллинга отмечено вдоль континентального склона центрального (18 ± 5 млн кл. \cdot м⁻³) и особенно южного подрайона (9.8 ± 1.9 млн кл. \cdot м⁻³) (олиготрофный разряд олиготрофного класса). Несмотря на существенный разброс значений, численность фитопланктона в целом по району ИЭЗ РС составил 111 ± 32 млн кл. \cdot м⁻³, а по трофическому статусу воды относятся к мезо-евтрофному разряду мезотрофного класса, что совпадает с выявленным в районе ИЭЗ Исламской Республики Мавритании в этот же сезон и год.

Берников Р.Г., Букатин П.А., Демидов А.А. Обзор океанографических исследований, выполненных у атлантического побережья Королевства Марокко / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград, 1993. 66 с. Библиогр.: 1-66. Деп. науч. раб. (Естественные и точные науки, техники). Вып. 9 (263). Деп. в ВНИЭРХ, № 1243, рх 93.

Оксиук О.П., Жданова Г.А., Гусынская С.Л., Головки Т.В. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Планктон // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30, №3. С. 26-31.

Семенова С.Н., Кудерский С.К. Фитоиндикация состояния апвеллинга у побережья Королевства Марокко и Исламской Республики Мавритании // Матер. V конф. по промышленной океанологии, посвящ. 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича. Калининград: АтлантНИРО, 2011. С. 213-217.

Семенова С.Н., Кудерский С.К. Особенности состояния фитопланктона у северо-западного побережья Африки: тез. докл. междунар. конф. «Актуальные проблемы планктонологии». Калининград: АтлантНИРО, 2012. С. 27-29.

Seguin G. Contribution à l'étude de la biologie du plankton (Sénégal). Etude quantitative, qualitative et observation écologique au course d'un cycle annual // Bull. Inst. Franç. Afrique Noire, 1966, ser. A. T. 28, №1. P. 76-89.

С.И. Сиделев, О.В. Бабаназарова, А.А. Зубишина, Д.Н. Плигин, В.Ю. Кутузова, А.В. Шершнева
ТОКСИГЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ И СОДЕРЖАНИЕ ЦИАНОТОКСИНОВ
В ВОДОЕМАХ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия, Sidelev@mail.ru

S.I. Sidelev, O.V. Babanazarova, A.A. Zubishina, D.N. Pligin, V.Yu. Kutuzova, A.V. Shershneva
TOXIGENIC CYANOBACTERIA AND CYANOTOXINS IN THE UPPER VOLGA RESERVOIRS

P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia, Sidelev@mail.ru

Одной из актуальных задач гидроэкологии является изучение причин и последствий «цветения» водоемов цианобактериями, принявшее в последнее время масштаб глобальной экологической проблемы. Основной причиной массового развития цианобактерий считается антропогенное эвтрофирование водоемов. Накопление в воде токсинов цианобактерий в периоды чрезмерного роста их биомассы рассматривается как одно из самых опасных для человека последствий «цветения» воды. В Европе и США изучению токсигенных цианобактерий и их токсинов уделяется большое внимание уже более 20 лет. Значимые результаты достигнуты в изучении химического разнообразия токсинов, механизмов их биосинтеза и токсического действия на животные организмы, в разработке системы нормативов их предельно допустимого содержания в воде. В настоящее время открыто и описано несколько сотен вторичных метаболитов цианобактерий, токсичных для человека. Наиболее опасными считаются гепатотоксины (микроцистины, цилиндроспермопсин) и нейротоксины (анатоксин-а, сакситоксины). Их широкое распространение в водоемах по всему миру определяется наличием способности к их синтезу у всех основных групп типичных возбудителей «цветения» воды – цианобактерий из родов *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* и др.

В России подобные работы с применением современных молекулярно-биологических и аналитических методов стали появляться лишь в начале 2000-х гг. Однако целый круг вопросов и остается фактически не затронутым отечественными исследованиями. Необходимо выяснить, какие таксоны цианобактерий в наших водоемах являются наиболее распространенными продуцентами токсинов; какие типы токсинов наиболее распространены в водоемах России; насколько часто уровень

содержания цианотоксинов превышает предельно допустимый и каковы могут быть максимальные природные концентрации токсинов; какие периоды года наиболее критичны по содержанию цианотоксинов в воде; содержатся ли цианотоксины в водопроводной воде, прошедшей очистку на водопроводных станциях и подаваемой населению; насколько эффективны традиционные методы очистки воды. Все перечисленные аспекты явились стимулом для исследований токсигенных цианобактерий и содержания цианотоксинов в водоемах Верхней Волги. Исследования были начаты в середине 2000-х гг. на кафедре экологии и зоологии ЯрГУ с целью разработки системы мониторинга цианобактериальных токсинов в России. Исследования проводили на 24 водоемах разного типа, в том числе – Горьковском и Угличском водохранилищах; озерах Неро, Плещеево, Шачебол, Искробол, Яхробол, Беловское, Ешка, Рюмниковское, Чашницкое; реках Которосль, Улейма, Векса Ростовская, Устье, Касть, Печегда; прудах г. Ярославля.

Использовали комплексный подход, включающий молекулярно-биологические (идентификация токсигенных цианобактерий), аналитические (измерение концентраций токсинов) и традиционные гидробиологические (определение состава и обилия фитопланктона, измерение абиотических параметров среды) методы исследования. Кроме того, одновременно проводили как стационарные сезонные исследования на отдельных водоемах, так и кратковременные обследования разных типов водных объектов. Для обнаружения токсигенных цианобактерий в фитопланктоне применяли полимеразную цепную реакцию (ПЦР) со специфическими праймерами, позволяющими идентифицировать присутствие в пробах продуцентов разных типов токсинов. Для решения задачи установления основных родов и видов цианобактерий-продуцентов использовали метод полиморфизма длины рестрикционных фрагментов. Была разработана также методика детекции генов синтеза цианотоксинов на основе анализа ДНК, выделенной из отдельных колоний предполагаемых видов-продуцентов. Концентрации разных типов цианотоксинов определяли в основном иммунохимическим анализом, для ряда водоемов данные были получены в совместных исследованиях с немецкими коллегами (Е. Диттманн и Д. Фастнер) с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии/тандемной масс-спектрометрии.

Микроскопический анализ выявил, что к основным потенциально токсигенным цианобактериям в водоемах Верхней Волги относились виды родов *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Gloeotrichia echinulata*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, а также *Planktothrix agardhii*. В водоемах зафиксировано присутствие микроцистинов, цилиндроспермопсина и сакситоксинов, анатоксин-а не был обнаружен. Самое широкое распространение во всех исследованных водоемах имели микроцистины (более 95 % проанализированных проб), идентифицировано присутствие 9 их изоформ, наиболее типичными вариантами в водоемах Верхней Волги были MC-RR, MC-LR и MC-YR. Остальные цианотоксины детектировались лишь спорадически в следовых количествах. Молекулярно-генетические исследования подтвердили, что основными продуцентами микроцистинов в водоемах Верхней Волги являются представители рода *Microcystis*, обнаружены микроцистин-продуцирующие популяции *M. aeruginosa*, *M. viridis*, *M. flos-aquae* и *M. novacekii*, токсигенных штаммов *M. wesenbergii* в Верхневолжском регионе не выявлено. Кроме того, гены синтеза микроцистинов идентифицированы у рода *Anabaena* (р. Улейма) и у *Planktothrix agardhii* (озера Неро, Шачебол, Яхробол). Начаты работы по идентификации видов-продуцентов других цианотоксинов, обнаруженных в водоемах Верхней Волги. Суммарные концентрации микроцистинов варьировали в широком диапазоне – от сотых долей мкг/л в весенний период или в менее эвтрофных водоемах (реки) и до огромных значений (2000–5113 мкг/л) в районах сгона водорослевых масс, в пятнах «цветения» в более эвтрофных водоемах (водохранилища и озера). На примере Горьковского водохра-

нилища, оз. Неро и р. Которосль установлено, что в сезонной динамике наиболее неблагоприятными периодами с максимумом содержания в воде микроцистинов были летние и осенние месяцы (вплоть до октября), при этом в большинстве водоемов присутствие токсичных молекул в воде детектировалось также и весной. Впервые в России нами были проведены исследования по изучению сезонной динамики присутствия микроцистинов в питьевой водопроводной воде, подаваемой населению г. Ярославля. Высокое содержание гепатотоксинов в воде Горьковского водохранилища в районе водозабора совпало со значительным превышением в водопроводной воде в августе и сентябре 2013 г. (> 5 мкг/л) ориентировочного безопасного уровня концентраций, предложенного ВОЗ (1 мкг/л). Полученные результаты свидетельствуют и о том, что существующие на водопроводных станциях методы подготовки воды для подачи населению малоэффективны в плане удаления цианотоксинов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента МК-1284.2013.5.

С.И. Сиделев¹, Л.Г. Корнева², В.В. Соловьева², А.А. Зубишина¹
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА И ТОКСИГЕННЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОЛЖСКОМ ПЛЕСЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2013 г.

¹ Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия, Sidelev@mail.ru

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, korneva@ibiw.yaroslavl.ru

S.I. Sidelev¹, L.G. Korneva², V.V. Solovyeva², A.A. Zubishina¹
SEASONAL DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON AND TOXIGENIC CYANOBACTERIA IN THE VOLGA REACH OF RYBINSK RESERVOIR IN 2013

¹ P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia, Sidelev@mail.ru

² I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, korneva@ibiw.yaroslavl.ru

Массовое развитие цианобактерий (синезеленых водорослей) в водоемах вызывает ряд негативных последствий, среди которых наиболее опасным является отравление животных и человека токсинами. Как правило, выявление токсигенных цианобактерий в водоемах умеренной зоны проводится летом, в период их массового развития, без учета сезонной динамики. Цель данной работы – анализ сезонных изменений состава и обилия фитопланктона, а также идентификация токсигенных цианобактерий в Волжском плесе Рыбинского водохранилища.

Исследования проводили на стандартной станций Рыбинского водохранилища, расположенной в Волжском плесе над бывшим г. Молога (ст. Молога, 58°13' с.ш., 38°27' в.д.), где ведется многолетний мониторинг фитопланктона (с 1954 г. по наст. время) лаб. альгологии ИБВВ РАН. Отбор проб осуществляли с мая по октябрь 2013 г. (9 рейсов) из поверхностного двухметрового слоя воды, ограничивающего эвфотную зону водохранилища. Для оценки состава, численности и биомассы фитопланктона пробы воды концентрировали путем прямой фильтрации под давлением последовательно через мембранные фильтры с порами диаметром 5 и 1.2 мкм. Консервацию живого фитопланктона осуществляли раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты. Численность водорослей подсчитывали в камере «Учинская-2» объемом 0.02 мл, биомассу определяли счетно-объемным методом (Методика..., 1975). Из этого же слоя воды с мая по сентябрь 2013 г. осуществляли отбор проб для проведения молекулярно-генетического анализа. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) для детекции у цианобактерий участков генов, ответственных за синтез микроцистинов, проводили с использованием родоспецифичных праймеров mcyE-F2/MicmcyE-R8 (*Microcystis*), mcyE-F2/AnamcyE-12R (*Anabaena*) и mcyE-F2/mcyE-plaR3 (*Planktothrix*), позволяющих идентифицировать продуцентов на родовом уровне непосредственно из природных проб. Кроме того, был проведен поиск генов, отвечающих у цианобактерий за синтез цилиндроспермопсина, анатоксина-а и сакситоксинов, с применением соответствующих праймеров M13/M14, anaC-genF/anaC-genR и sxtaf/sxtar. Одновременно, была разработана и апробирована

техника детекции генов синтеза цианотоксинов на основе анализа ДНК, выделенной из отдельных колоний *Microcystis* и *Aphanizomenon*, что позволило идентифицировать некоторых продуцентов на видовом уровне.

В период исследования в сезонной динамике биомассы фитопланктона прослеживался весенний пик развития диатомовых (*Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Aulacoseira subarctica* (O. Müll.) Haworth и *Cyclotella meneghiniana* Kütz.) и обширный летний максимум с двумя подъемами, обусловленными развитием цианобактерий в начале июля (*Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Anabaena scheremetievi* Elenk., *Anabaena* sp., *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz.), диатомовыми и цианобактериями в начале августа (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Actinocyclus normanii* (Greg.) Hust., *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim.). Средневегетационная суммарная биомасса фитопланктона достигала 6.04 ± 0.73 г/м³, 42% составляла биомасса цианобактерий (2.51 ± 0.68 г/м³). Динамика численности фитопланктона определялась развитием цианобактерий (88%) и характеризовалась продолжительным максимумом с начала июля до начала сентября, обусловленным, главным образом, *Aphanizomenon flos-aquae*, составляющим 16–76% общей численности фитопланктона.

В ДНК фитопланктона Рыбинского водохранилища было обнаружено присутствие генов *mscE* и *sxtA*, что свидетельствует о способности цианобактерий этого водоема к биосинтезу микроцистинов (гепатотоксины) и сакситоксинов (нейротоксины). Гены, связанные с синтезом анатоксина-а и цилиндропермопсина не выявлены. Цианобактерии начинали свою вегетацию уже в конце мая – начале июня за счет *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anag. et Kom. Результаты ПЦР-анализа ДНК фитопланктона за данный период дали положительный результат на присутствие гена *mscE* в клетках *Planktothrix agardhii*. В июне разнообразие цианобактерий значительно пополнилось представителями родов *Microcystis* (*M. wesenbergii* (Komárek) Komárek, *M. aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *M. flos-aquae* (Wittr.) Kirch.), *Aphanocapsa* (*A. holsatica* (Lemm.) Cronb. et Kom., *A. incerta* (Lemm.) Cronb. et Kom.), *Pseudanabaena mucicola* (Naumann et Hub.-Pest.) Schwabe, *Aphanizomenon flos-aquae*, видами *Snowella* и *Anabaena*. Из последних численно превалировала *Anabaena lemmermannii* P. Richter. В начале июля видовое богатство цианобактерий увеличивалось за счет *Aphanothece clathrata* W. et G.S. West f. *brevis* (Bachm.) Elenk., *Aphanocapsa planctonica* (G.M. Smith) Kom. et Anagn., *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Leg. et Cronb., *Microcystis viridis* (A. Braun in Rabenh.) Lemm., *Merismopedia minima* G. Beck и достигало своего максимума (18). В дальнейшем оно пополнялось видами из родов *Chroococcus*, *Aphanocapsa*, *Pseudanabaena acicularis* (Nyg.) Anag. et Kom., *Limnothrix planctonica* (Wolos.) Meffert и *L. redekei* (Van Goor) Meffert. и варьировало от 12 до 14. Среди выявленных в сезонной динамике цианобактерий, наряду с *Planktothrix agardhii*, основными продуцентами микроцистинов, являлись представители рода *Microcystis*. Их микроцистин-синтезирующие популяции присутствовали в планктоне с конца мая и вплоть до сентября. За основной пул микроцистинов в Рыбинском водохранилище были ответственны *Microcystis aeruginosa* и *M. viridis*, доля их колоний, содержащих ген микроцистинсинтаза *mscE*, составляла 100% и 91% соответственно. У проанализированных колоний *M. flos-aquae* и *M. wesenbergii* данный ген отсутствовал. В период с конца июня и до начала июля в фитопланктоне наряду с токсигенными видами *Microcystis* появились популяции *Anabaena*, способные синтезировать микроцистины. В эти же месяцы нами отмечена вспышка развития сакситоксин-продуцирующих цианобактерий. Это первые сведения об обнаружении в водоемах России цианобактерий, способных синтезировать данные нейротоксины. Известно, что одними из основных продуцентов сакситоксинов являются виды рода *Anabaena* и *Aphanizomenon flos-aquae*. По данным микроскопического изучения проб в период с конца июня и до начала июля в фитопланктоне присутствовали представители обоих родов. Однако ПЦР-анализ ДНК, выделенной из отдельных колоний *Apha-*

nizomenon flos-aquae, которые вегетировали в данный период, дал отрицательный результат на наличие гена синтеза сакситоксинов *sxtA*. Это свидетельствует в пользу гипотезы об обнаружении в Рыбинском водохранилище сакситоксин-продуцирующих популяций *Anabaena*.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента МК-1284.2013.5.

Е.В. Станиславская
ДИНАМИКА ВОДРОСЛЕЙ ПЕРИФИТОНА В ОЗЕРАХ РАЗЛИЧНЫХ
ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЛАНШАФТОВ

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, stanlen@mail.ru

E.V. Stanislavskaya
DYNAMICS OF PHYTOPERYPHITON IN LAKES OF VARIOUS GEOCHEMICAL LANDSCAPES

Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia, stanlen@mail.ru

В вегетационный сезон 2013 г. были проведены исследования водорослей перифитона 6 озер трех районов Ленинградской обл., различающихся геохимическим фоном. В каждом типе ландшафта была выбрана пара озер, которые в целом совпадали по основным лимнологическим характеристикам, но различались по степени антропогенного воздействия. Первый район принадлежит камово-озерно-ледниковому ландшафту, характерному для центральной части Карельского перешейка. Исследованные в этом районе озера Мичуринское и Берестовое характеризовались относительно большой глубиной, низкой цветностью и степенью минерализации. Второй район расположен на границе первого ландшафта и Приневской низины. Озера этого района Малое Лозовое и Затишье окружены болотами, они относительно мелководны, их воды имеют высокую цветность и кислую реакцию воды. Третий район расположен на юге области, на территории Ижорского плато, сложенного известняковыми породами. Исследованные озера Дудергофское и Белое, относительно мелководны и характеризуются высокой минерализацией вод. Целью исследования было определение особенностей сезонной динамики структуры, доминирующих комплексов видов, а также количественных характеристик этого сообщества. Некоторые данные о видовом составе и количественном развитии водорослей перифитона в озерах Мичуринском, Берестовом, Дудергофском опубликованы ранее (Станиславская 2008, 2012, 2013а, б).

Оз. Мичуринское, относящееся к первой группе, испытывает достаточно сильную антропогенную нагрузку от расположенных по его берегам большого поселка и сельскохозяйственных угодий, в отличие от оз. Берестового, окруженного лесом. Весной в перифитоне оз. Мичуринского преобладали диатомовые водоросли, среди которых доминировали *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère in Jahn et al., *Melosira varians* Ag., а также *Rhopalodia gibba* (Ehr.) O. Müll. В середине лета структура перифитона складывалась из диатомовых и зеленых водорослей. В летний доминирующий комплекс из диатомовых входили *Fragilaria capucina* Desm., *Epithemia adnata* (Kütz.) Bréb., *Cymbella lanceolata* (Ehr.) Kirchn. Зеленые водоросли были представлены видами родов *Oedogonium*, *Bulbochaeta*, *Spirogyra*, встречались также десмидиевые *Pleurotaenium trabecula* (Ehr.) Näg. и *Gonatozygon monotaenium* de Bary. Осенью наряду с диатомовыми и зелеными водорослями развивались синезеленые водоросли, среди которых доминировали *Rivularia aquatica* (de Wild.) Geitl. и *Gloeotrichia intermedia* (Lemm.) Geitl. В оз. Берестовом таксономическое разнообразие перифитона было ниже, чем в оз. Мичуринском. Весной основным доминантом из диатомей были *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kütz., *Eunotia bilunaris* (Ehr.) Grun. с разновидностями и *Gomphonema gracile* Ehr. emend Van Heurck. Летом наряду с развитием весеннего комплекса диатомей в составе перифитона появлялись синезеленые водоросли, среди которых наибольшего развития достигали *Stigonema tamilosum* (Lyngb.) Ag., *Microchaete tenera* Thur., *Hapalosiphon fontinalis* (Ag.) Born. Осенью доминирующий

комплекс синезеленых водорослей изменялся и был представлен, в основном, *Rivularia aquatica*. Кроме того, среди доминантов появлялись зеленые нитчатые водоросли из родов *Zygnema*, *Mougeotia*, *Spirogyra*. Для водоемов второй группы также была характерна своеобразная флора обрастаний, которая определялась повышенной цветностью и пониженными рН воды. В этой паре оз. М. Лозовое находилось в лесу, а оз. Затишье располагалось между двумя крупными шоссейными трассами. Весной в оз. М. Лозовом преобладали диатомовые водоросли, такие как *Frustulia saxonica* Rabenh., *F. crassinervia* (Breb.) Lange-Bert. et Krammer, *Brachysira vitrea* (Grün.) Ross, *Stenopterobia intermedia* Lewis. Летом в составе перифитона в этом озере были зафиксированы зеленые и синезеленые водоросли. Среди зеленых водорослей встречались виды из родов *Microspora*, *Spirogyra*, *Mougeotia* и десмидиевые из родов *Penium*, *Micrasterias*, *Triploceras*. Среди синезеленых доминировал *Napalosiphon fontinalis*. Этот же комплекс видов был развит и в осеннее время. В оз. Затишье весной также преобладали диатомовые водоросли, среди них доминирующими видами были *Tabellaria flocculosa*, *Frustulia saxonica* и *Eunotia serra* Ehrh. Летом и осенью доминировали такие зеленые как *Spirogyra*, *Mougeotia* и синезеленые *Aulosira laxa* Kirchn. и *Nostoc paludosum* Kütz. ex Born et Flah. В озерах Дудергофском и Белом водоросли обрастаний имели сравнительно высокое разнообразие и достаточно большое сходство, несмотря на то, что значительная антропогенная нагрузка приходилась на оз. Дудергофское, а оз. Белое было относительно чистым. Весной в этих озерах развивались диатомовые водоросли – типичные «эвтрофные» виды из родов *Ulnaria*, *Fragilaria*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*. Среди погруженной растительности, которая покрывает практически все дно этих водоемов, встречено большое количество мелкоклеточных видов этих родов. Летом и осенью в озерах доминировали зеленые водоросли. Среди них были нитчатые водоросли из родов *Zygnema*, *Mougeotia*, *Spirogyra*, *Oedogonium*, но количественно преобладала *Cladophora glomerata* (L.) Kütz., образующая обширные заросли в мелководной зоне озер. Следует отметить значительное разнообразие планктонных хлорококковых водорослей из родов *Scenedesmus*, *Oocystis*, *Pediastrum*, *Monoraphidium*, *Dictyosphaerium*, которые также входили в состав комплексов обрастаний. Осенью в обоих озерах были отмечено развитие синезеленых водорослей из родов *Woronochinia*, *Snowella*, *Chroococcus*, а также виды-обрастатели из родов *Oscillatoria* и *Lyngbya*.

Количественное развитие водорослей перифитона различалось в озерах различных групп. Содержание хлорофилла *a* изменялось в течение сезона в широких пределах от 0.01 до 0.40 мг/(г субстрата). Во всех трех группах озер относительно низкое содержание хлорофилла было характерно для перифитона чистых озер, тогда как при антропогенном влиянии оно значительно повышалось. В большинстве изученных озер совпадала сезонная динамика количественных показателей перифитона: к концу вегетационного сезона наблюдалось их постепенное повышение.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в озерах, расположенных в разных геохимических ландшафтах и имеющих разную антропогенную нагрузку, формируются различные по своему составу и уровню развития сообщества перифитона. Основные различия проявляются в составе доминирующих комплексов обрастаний и их сезонной динамике.

Станиславская Е.В. Оценка качества вод Дудергофской озерно-речной системы по сапробиологическим показателям // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Матер. III Всерос. конф. по водной токсикологии. Борок. 2008. Ч.3. С. 250-253

Станиславская Е.В. Водоросли перифитона разнотипных озер// Актуальные проблемы современной альгологии. Матер. конф. Киев, 2012. С. 279–280.

Станиславская Е.В. Альгофлора обрастаний разнотипных озер Карельского перешейка// Современная ботаника в России // Тр. XIII Съезда Русского Ботанического общества и конф. «Науч. основы охраны и рационального использования растительного покрова Волжского бассейна». Тольятти: Касандра, 2013. Т.1. С.131–134

И.Н. Стерлягова

РАЗНООБРАЗИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДОРосЛЕЙ ЭПИЛИТОНА В ДВУХ ГОРНО-ДОЛИННЫХ ОЗЕРАХ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, sterlyagova@ib.komisc.ru

I.N. Sterlyagova

DIVERSITY AND QUANTITATIVE INDICATORS OF EPILITHON ALGAE IN TWO MOUNTAIN-VALLEY LAKES OF THE SUBPOLAR URALS

Institute of Biology of Komi Scientific Centre UB RAS, Syktyvkar, Russia, sterlyagova@ib.komisc.ru

Перифитон – комплекс организмов, формирующихся на поверхности твердого субстрата, независимо от его происхождения (Комулайнен, 2004). Обрастания водорослей на каменистых субстратах – эпилитон, имеющий высокую индикаторную значимость, в северных водоемах исследован недостаточно. Особенно это касается горных озер Приполярного Урала. Цель работы – изучение видового разнообразия и структуры водорослей эпилитона в двух горно-долинных озерах Приполярного Урала, включая эколого-географический анализ и количественный учет численности и биомассы водорослей.

Сбор проб эпилитона проведен в июле 2005 г. в озерах Большое и Малое Балбанты. Для отбора проб выбирали плоские камни диаметром около 50 см, расположенные на глубине ~ 30 см. На каждой станции отбирали по 5 количественных проб. Водоросли отделяли от субстрата с помощью зубной щетки и скальпеля. Пробы фиксировали 40% раствором формальдегида. Подсчет клеток вели в камере Горяева в пяти повторностях. Водоросли из отдела Bacillariophyta определены в основном до рода. Количественные показатели (численность и биомасса) рассчитаны на единицу площади субстрата. Исследованные озера по гидрохимическим показателям отнесены к категории олиготрофных. В период отбора проб температура воды составила 10–15 °С, рН – 6.35–6.66, содержание растворенного кислорода – 2.08–3.67 мг/л, электропроводность – 10.2–21.8 мкS/см.

Всего в двух озерах выявлено 70 видов водорослей с внутривидовыми таксонами из 44 родов, 34 семейств, 18 порядков, относящиеся к отделам Cyanoprokaryota, Xanthophyta, Rhodophyta, Chlorophyta, Streptophyta, Bacillariophyta. В оз. Б.Балбанты зарегистрировано 47 видов, в оз. М.Балбанты – 44, сходство видового состава по коэффициенту Сьеренсена-Чекановского составило 60%. Ведущими семействами по числу видов являются Desmidiaceae, Nostocaceae, Selenastraceae, ведущими родами – *Cosmarium* и *Staurastrum*. Исследованные озера являются проточными, поэтому видовой состав эпилитона в них мало отличается от такового текучих водоемов. Водоросли различных отделов образуют несколько типов обрастаний на камнях.

Цианопрокариоты представлены тремя типами обрастаний. Ностоковый тип – один из самых известных для водоемов различных природно-климатических зон (Гецен, 1985). В исследованных водоемах найден *Nostoc caeruleum* Lyngb. ex Born. & Flah., который образует макроскопические колонии на камнях. Тип *Tolypothrix* также хорошо известен по характеру роста на камнях с образованием войлочных налетов. Главный представитель этого типа обрастаний в исследованных озерах – *Tolypothrix lanata* Wartmann ex Born. & Flah. Формидиумо-осциллаториевый тип образует в реофильных условиях на камнях пленки и корки. В исследованных водоемах в этом типе обрастаний наиболее обычны *Phormidium tenue* Gom., *P. granulatum* (Gardn.) Anagn., *P. breve* (Kütz.) Anagn. et Kom. Важным компонентом среди цианопрокариот в составе эпилитона является разнообразная флора вторичных эпифитов на водорослях из

различных отделов. Из них в реофильных условиях на камнях развиваются *Chamaesiphon gracilis* Rabenh.

Желто-зеленые водоросли формируют обрастания типа *Tribonema*. В эпилитоне исследованных водоемов обнаружено *T. intermixtum* Pasch., *T. minus* (Wille) Hazen, *T. vulgare* Pasch. Красные водоросли (Rhodophyta) представлены обрастаниями типа *Lemanea* и *Audouinella*, которые специфичны для быстротекучих и горных водотоков. Виды *Lemanea fluviatilis* (Linn.) Ag., *Audouinella chalybaea* (Roth) Bory de Saint-Vincent Fries редко встречаются в проточных озерах. Зеленые водоросли (Chlorophyta) образуют несколько типов обрастаний. Нитчатый тип обрастаний наиболее характерен для горно-тундровых водоемов (Гецен, 1985). Зеленые водоросли представлены наиболее обычными видами для чистых текучих водоемов: нитчатая водоросль *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr.) Kütz. и колониальная зеленая водоросль *Tetraspora cylindrica* (Wahl.) Ag., которые встречаются в массе и являются доминантами сообществ эпилитона исследованных озер.

Одноклеточные водоросли из отдела Streptophyta (Charophyta) – постоянный компонент обрастаний камней. Для северных водоемов среди них наиболее характерны десмидиевые водоросли. В эпилитоне исследованных водоемов выявлено 17 видов десмидиевых водорослей. Наиболее часто встречаются *Closterium tumidulum* Gay., *Cosmarium impressulum* Efv., *C. punctulatum* Bréb., *C. granatum* Bréb. ex Ralfs, *Staurastrum orbiculare* Meneg. ex Ralfs. Остальные виды в исследованных водоемах отмечены единично или редко.

По эколого-географическим характеристикам большинство встреченных видов относятся к планктонно-бентосным и бентосным формам, имеющим широкий ареал, индифферентным по отношению к солености и кислотности среды.

Количественные показатели развития эпилитона в исследованных озерах различаются. В оз. Б. Балбанты численность и биомасса водорослей (431 тыс. кл./см² и 3657 мг/см²) выше чем в оз. М. Балбанты (216 тыс.кл./см² и 2203 мг/см.). По численности преобладают цианопрокариоты, зеленые и диатомовые водоросли. Наибольший вклад в биомассу вносят диатомеи, на втором месте – водоросли из отделов Chlorophyta и Streptophyta. Цианопрокариоты в эпилитоне исследованных озер в основном представлены мелкоклеточными формами, поэтому их вклад в биомассу невелик.

Исследования выполнены при поддержке конкурсных программ научных исследований УрО РАН (проекты № 12-И-4-2007 и № 12-С-4-1002).

Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л.: Наука, 1985. 165 с.

Комулайнен С.Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 182 с.

Е.А. Сысова
ВЛИЯНИЕ КАРПА И ЛЕЩА НА СТРУКТУРУ ФИТОПЛАНКТОНА
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕЗОКОСМАХ

Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, г. Минск, Беларусь, sysovaelena@mail.ru

Е.А. Sysova
CARP AND BREAM INFLUENCE ON THE PHYTOPLANKTON STRUCTURE
IN EXPERIMENTAL MESOCOSMS

The Scientific and Practical Center for Bioresources, Minsk, Republic of Belarus, sysovaelena@mail.ru

Решающая роль в формировании кормовой базы гидробионтов, в том числе промысловых рыб, принадлежит фитопланктону – первому звену в трофической цепи водных организмов. Развитие фитопланктона в значительной мере определяется наличием в воде биогенных элементов, прежде всего – азота, фосфора и кремния. Биогенные элементы, жизненно необходимые фитопланктону для синтеза органического вещества, являются гидрохимической основой биопродуктивности водоема.

Цель работы состояла в выявлении влияния рыб на качественные и количественные показатели развития фитопланктона.

Опыты проводили на оз. Обстерно. В литоральной зоне озера были установлены садки (мезокосмы), которые представляли собой участки площадью около 15 м², огороженные сетью (размер ячеи 200 мкм). В 2012 г. установлено 3 садка (контрольный, с карпом и с лещом), в 2013 г. – 3 контрольных, 3 с особями карпа (возраст 3+), 3 с лещом (возраста 3+).

Анализ развития фитопланктона в экспериментах 2012 г. показал, что его численность и биомасса в садках с карпом к концу опыта составляла соответственно 3.8 млн экз./л и 1.95 мг/л, что в два раза превышало таковые в контрольном садке (1.9 млн экз./л и 0.65 мг/л). Массовое развитие водорослей в экспериментальном садке с карпом было вызвано повышенной концентрацией аммонийного азота. Наблюдались и различия в видовом составе фитопланктона. В садках с карпом доминировали виды диатомовых *Stauroneis phoenicenteron*, *Amphora ovalis* и *Melozira granulata*, а в контрольном садке – только один вид *Stauroneis phoenicenteron*, который составлял около 90% общей биомассы.

В 2013 г. в начале эксперимента отмечено снижение численности и биомассы фитопланктона. Однако уже к середине эксперимента оба показателя значительно увеличились по отношению к контролю. Это увеличение могло быть связано с возросшей концентрацией аммонийного азота, особенно в садках с лещом. В экспериментальных садках существенно менялось сходство видового состава фитопланктона. В начале эксперимента наиболее сходными были сообщества в садках с лещом и контролем – 75%. На протяжении эксперимента прослеживалось постепенное увеличение различий между сообществами (до 46%).

Таким образом, присутствие роящих рыб способствует дополнительному поступлению в воду биогенных элементов (аммонийного азота и фосфора), определяющих ускоренный рост фитопланктона, увеличение его численности и биомассы.

Н.Г. Тарасова, Т.Н. Буркова
ФИТОПЛАНКТОН ОЗЕР С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, tnatag@mail.ru
N.G. Tarasova, T.N. Burkova
PHYTOPLANKTON IN LAKES WITH DIFFERENT ANTHROPOGENIC LOAD
Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, Togliatti, Russia, tnatag@mail.ru

Изучение реакции различных компонентов экосистем на антропогенное воздействие является одной из важнейших задач экологии. У истока реки и в устье р. Бинарадка (Красноярский р-н Самарской обл.) расположены два пруда со сходной морфометрией, но испытывающие в разные годы своего существования различную антропогенную нагрузку. Пруд 1 в верховье реки подвергается незначительному рекреационному воздействию. Пруд 2, расположенный в устье реки, в 1970-х гг. использовался для разведения уток. В настоящее время здесь организовано рыбозаведение, платная рыбалка и отдых жителей г. Самары. В мае, июле и сентябре 2008 г. нами были проведены исследования альгофлоры этих прудов. Пробы отбирали в глубокой части водоема и в зоне фитали – в зарослях высших водных растений. Материал обрабатывали по стандартным гидробиологическим методикам (Методика ..., 1975). Результаты исследований частично опубликованы (Тарасова и др., 2010, 2011).

Всего в составе фитопланктона прудов обнаружено 409 таксонов рангом ниже рода. Видовое богатство водорослей обоих водоемов было сходным (257 таксонов в пруду 1 и 256 в пруду 2), но таксономическая структура альгофлоры значительно различалась. Коэффициент видового сходства альгофлоры этих водоемов (коэффициент Серенсена) составил 40%. В пруду 1 по количеству видов преобладали

диатомовые водоросли, в пруду 2 – зеленые. Третью позицию по числу таксонов рангом ниже рода в обоих водоемах занимали синезеленые. В более чистом водоеме далее по видовому богатству следовали золотистые и динофитовые водоросли, в загрязненном – эвгленовые и желтозеленые. В пруду 1 зарегистрирован единственный представитель отдела рафидофитовых водорослей.

В зоне фитали видовое богатство альгофлоры было в 1.5 раза выше, чем в открытой части. При этом таксономическая структура альгофлоры различных экотопов оставалась сходной. По видовому богатству преобладали зеленые водоросли, затем следовали диатомовые и синезеленые. Доля водорослей, обладающих способностью к миксотрофному питанию, в зоне фитали ниже, чем в открытой части. В зоне фитали видовое богатство стрептофитовых водорослей в 2.6 раза выше, чем в свободной от макрофитов водной толще. В зоне фитали пруда 1 видовое богатство альгофлоры планктона выше в 2.2 раза, а в пруду 2 – только в 1.1. Возможно, это связано с тем, что в водоеме, испытывающем длительное дополнительное поступление питательных веществ, их количество и в зоне открытой воды, и в зоне фитали достаточно высоко. В озере же с незначительной антропогенной нагрузкой в зоне фитали количество биогенов, поступающих от гниющих частей растений, значительно выше, чем в районе открытой воды.

Таксономическая структура альгофлоры в открытой части и в фитали пруда 1, значительно различалась, коэффициент Серенсена не превышал 32%. В незаросшей части водоема наибольшим видовым богатством характеризовались зеленые водоросли, а в зоне с макрофитами – диатомовые. В пруду 2 во всех экотопах таксономическая структура альгофлоры была сходной. Максимальный коэффициент Серенсона, рассчитанный для водорослей отдельных экотопов, составил 59%. Зона макрофитов отличается только тем, что в ней зарегистрировано в 2 раза больше видов стрептофитовых водорослей, чем в зоне открытой воды. Наибольшее число видов, разновидностей и форм в обоих прудах формируется в сообществе погруженного макрофита элодеи канадской (*Elodea canadensis* Michx), наименьшее – в сообществе тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.)). В сообществах макрофитов, по сравнению с незаросшей частью водоема, отмечается повышенное содержание литоральных, бентических форм водорослей и видов-обрастателей.

В пруду 1 в поверхностном горизонте максимальная численность фитопланктона была ниже в 20 раз, а биомасса в 3 раза, чем в пруду 2. В первом водоеме в течение вегетационного периода отмечалась тенденция к снижению общей численности и биомассы, во втором, наоборот, – их повышение. Доминирующие комплексы фитопланктона различались и в двух прудах, и в их различных биотопах. В пруду 1: весной и осенью наибольшего развития достигали золотистые водоросли, летом – динофитовые; в пруду 2 независимо от сезона года по численности доминировали синезеленые. Состав доминирующего по биомассе комплекса изменялся по сезонам: весной преобладали случайно планктонные виды; летом – синезеленые, а среди них – возбудители «цветения» воды; осенью – вновь случайно планктонные организмы.

По величине среднесезонной биомассы вода в обоих прудах относится ко второму классу качества «чистая», по величине показателя сапробности, рассчитанного по фитопланктону, – к третьему классу «удовлетворительной чистоты» (Оксиюк и др., 1993).

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 240 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Багринский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Тарасова Н.Г., Буркова Т.Н., Трохимец О.О. Сравнительная характеристика таксономического состава альгофлоры озер, с различной степенью антропогенной нагрузки (село Бинарадка, Красноярский район, Самарская область) // Изв. СНЦ РАН. 2010. Т.12, №1 (3). С. 816–821.

Тарасова Н. Г., Буркова Т. Н., Трохимец О. О. Сезонная динамика фитопланктона и экология доминирующих видов водорослей в прудах, с различной степенью антропогенной нагрузки // Изв. СЦ РАН. 2011. Т.13, №5, С. 230–235.

Л.А. Титова, С.М. Сафонова, М.В. Усольцева
ОСЕННИЙ ФИТОПЛАНКТОН ПЕЛАГИАЛИ БАЙКАЛА В 2013 г.
Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, titova_873@mail.ru
L.A. Titova, S.M. Safonova, M. V. Usoltzeva
AUTUMN PHYTOPLANKTON IN PELAGIC ZONE OF LAKE BAIKAL IN 2013.
Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia, titova_873@mail.ru

Фитопланктон оз. Байкал играет важную роль в создании первичного органического вещества. За счет жизнедеятельности планктонных водорослей в течение года в Байкале образуется около 4 млн т ОВ в пересчете на $C_{орг}$, что составляет 89 % суммарного его поступления в озеро (Вотинцев, Поповская, 1974). Масштабы продуцирования ОВ различны по акватории озера в разные сезоны (Поповская, 1977). Микроводоросли являются чувствительными индикаторами к изменениям обстановки всей водной экосистемы, поэтому, необходим постоянный мониторинг за экологическим состоянием Байкала. Ранее, в 1963–1974 гг., проводились детальные исследования фитопланктона по всей акватории озера в различные сезоны. Было показано, что осенний фитопланктон распределен по котловинам более или менее равномерно, хотя осенний максимум водорослей по сравнению с весной выражен слабо или совсем отсутствовал. Наибольший вклад в биомассу вносила *Cyclotella minuta* (Skvortzow) Antipova (Вотинцев и др., 1975; Поповская, 1977). В 1990-е гг. наряду с *Cyclotella minuta* стали активно вегетировать виды *Romeria* sp., *Chroomonas acuta* Utermohl, *Chrysidalis* sp. (= *Chrysochromulina* sp.) (Измestьева и др., 2001) В 2005–2006 гг. в осенний период доминировали *Ch. acuta* и *C. minuta* (Помазкина и др., 2010).

Цель работы – оценка видового разнообразия и пространственного распределения осеннего фитопланктона в пелагиали Байкала в 2013 г. Пробы отбирали с помощью системы батометров карусели SBE-32 в октябре, во время экспедиции на НИС «Г.Ю. Верещагин». Исследовали верхний 25-метровый слой.

Осенний фитопланктон Байкала в основном представлен золотистыми, диатомовыми, зелеными и криптофитовыми водорослями. По численности доминировали золотистые *Chrysochromulina* sp., *Dinobryon cylindricum* Imhof и *D. divergens* Imhof. На долю *Chrysochromulina* sp. приходилось 35–85 % общей численности, но из-за мелких размеров (5–6 мкм) существенного вклада в биомассу этот вид не вносил. В Южном и Среднем Байкале лидирующее положение занимали диатомовые *Synedra acus* subsp. *radians* (Kützing) Skabitshevsky, *Asterionella formosa* Hassall и *C. minuta*. На их долю приходилось 40–65 % биомассы. В Северном Байкале среди диатомовых доминировала *C. minuta*, составлявшая 10–40 % общей биомассы. Численность этого вида варьировала от 0.6 до 7.1 тыс. кл./л, а биомасса от 1.5 до 18.6 мг/м³. Этот же вид активно вегетировал и в октябре–ноябре 1963–1974 гг. (Вотинцев и др., 1975; Поповская, 1977). Общая численность и биомасса фитопланктона Байкала осенью 2013 г. колебались в пределах 40.6–418 тыс. кл./л и 14–224 мг/м³. Наибольшие количественные показатели фитопланктона зарегистрированы в Южном и Среднем Байкале.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы ЛИН СО РАН № VIII.76.1.5.

Вотинцев К.К., Поповская Г.И. Значение аллохотонного органического вещества в оз. Байкал // Природа Байкала. Л., 1974. С. 168–176.

Поповская Г.И. Динамика фитопланктона пелагиали // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость. Новосибирск: Наука, 1977. С. 5–39.

Вотинцев К.К., Мещерякова А.И., Поповская Г.И. Круговорот органического вещества в озере Байкал. Новосибирск: Наука, 1975. С. 56–151.

Изместьева Л.Р., Павлов Б.К., Шимараева С.В. Современное состояние экосистемы озера Байкал и тенденции его изменения // Тез. докл. VIII съезда Гидробиологического общества РАН. Калининград, 2001. С. 12–14.

Помазкина Г.В., Белых О.И., Домышева В.М. и др. Структура и динамика фитопланктона в Южном Байкале (Россия) // Альгология. 2010. Т. 20, №1. С. 56–72.

М.В. Уманская, Е.С. Краснова
ФОТОТРОФНЫЙ ПИКОПЛАНКТОН В ОЗЕРАХ И ВОДОХРАНИЛИЩАХ БАСЕЙНА ВОЛГИ
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, mvu@fromru.com
M.V. Umanskaya, E.S. Krasnova
PHOTOTROPHIC PICOPLANKTON IN LAKES AND RESERVOIRS OF THE VOLGA BASIN
Institute of Ecology of Volga Basin RAS, Togliatti, Russia. mvu@fromru.com

Фитопланктон – важнейшее трофическое звено в водных экосистемах, вносящее преобладающий вклад в новообразование органического вещества. Размеры организмов фитопланктона охватывают широкий диапазон – от 10^{-2} до 10^{-6} м и менее. Наиболее мелкие организмы фитопланктона размером менее 2 мкм принято называть фототрофным пикопланктоном. В его состав входят как цианобактерии (например, *Synechococcus* sp., *Cyanobium* sp. и некоторые др.), так и эукариотические водоросли разных таксономических групп (*Pseudodictyosphaerium* sp., *Choricystis* sp., *Myconastes* sp. и др.). Хотя фототрофный пикопланктон присутствует в составе планктона всех водных экосистем, из-за малых размеров его часто не учитывают при исследовании традиционными методами, поэтому данные о его развитии и вкладе в общую биомассу фитопланктона в пресных водоемах России ограничены и фрагментарны.

Начиная с 2011 г., мы исследовали фототрофный пикопланктон (ФПП) в озерах республики Марий Эл (оз. Кузнечиха), Башкортостан (оз. Кандры-Куль), Пермского края (оз. Нюхти), Самарской обл. (оз. Б. Васильевское), а также в Верхневолжском, Куйбышевском, Саратовском, Камском, Воткинском и Нижнекамском водохранилищах. В большинстве водоемов пробы отбирали в поверхностном слое воды, только в наиболее глубокой части озер Кузнечиха и Кандры-Куль было изучено и вертикальное распределение ФПП. Исследованные водоемы различаются по трофическому статусу, гидродинамическому и гидрохимическому режиму, уровню антропогенной нагрузки, что позволило выявить некоторые особенности развития ФПП в разных условиях.

В составе ФПП всех исследованных водоемов преобладали фикоцианин-содержащие пикоцианобактерии, доля эукариотических пиководорослей в общей численности, как правило, была незначительной. Типичные размеры клеток (интерквартильный размах) – длина 0.54–1.71 мкм, объем 0.05–0.99 мкм³. Численность ФПП изменяется в широких пределах. В период половодья (май–июнь) в исследованных водохранилищах количество ФПП в среднем составило $51.8 \pm 70.6 \times 10^6$ кл./л с очень большими вариациями между станциями. Наибольшая численность ФПП зарегистрирована в Воткинском водохранилище, а наименьшая – в Верхневолжском. В летнюю межень, судя по полученным данным, количество ФПП в водохранилищах сильно зависит от интенсивности "цветения" воды. Так, в Саратовском водохранилище в условиях интенсивного "цветения" ФПП был зарегистрирован только на некоторых станциях, причем его численность не превышала 5×10^6 кл./л. В Верхневолжском водохранилище до начала "цветения" ФПП присутствовал во всех пробах, а его численность была намного выше (37.5 – 380×10^6 кл./л).

Общая численность ФПП малопродуктивного световодного оз. Кандры-Куль изменяется в пределах 1.2 – 96.1×10^6 кл./л, со значительными колебаниями как в пространстве, так и во времени. Доля пиководорослей возрастает от весны к осени,

достигая в сентябре на некоторых станциях 30% общей численности. Максимальное количество ФПП зарегистрировано в июле в диапазоне глубин 2–4 м. В мезотрофном полигузмозном оз. Нюхти (рН воды 6.0) в июне численность ФПП составила 167×10^6 кл./л, причем, в отличие от кислых полигузмозных озер Дании, фототрофные пикоэукариоты были обнаружены в очень незначительном количестве ($1.5\text{--}1.8 \times 10^6$ кл./л, т.е. около 1%). В гипертрофном оз. Б. Васильевское численность ФПП составила $517.3 \pm 209.5 \times 10^6$ кл./л в летний период, а поздней осенью снизилась до $43.6 \pm 38.7 \times 10^6$ кл./л. Наибольшее развитие ФПП было обнаружено в хемоклине меромиктического оз. Кузнечиха ($1.5\text{--}4.0 \times 10^9$ кл./л или 377–2136 мкг/л) с максимумом численности на 6 м, а биомассы – на 5.5 м. От 15 до 40 % всего ФПП в зоне хемоклина находится в виде колоний.

В среднем, в поверхностном слое воды в водохранилищах, мезотрофных и гипертрофных озерах и в эпилимнионе меромиктического озера биомасса ФПП составляет 5–25 мкг/л. Это соответствует 9.3–32.9 % биомассы бактериопланктона. В хемоклине оз. Кузнечиха биомасса одиночного ФПП сопоставима с биомассами гетеротрофных и аноксигенных фототрофных бактерий, а с учетом колониального значительно превышает их. Средняя биомасса ФПП в Верхневолжском водохранилище, озерах Нюхти и Кандры-Куль составляет 1.3–7.3 % средней биомассы фитопланктона. В гипертрофном оз. Б. Васильевское вклад ФПП в биомассу фитопланктона ниже (0.9 %).

Полученные результаты демонстрируют тенденцию к увеличению биомассы фототрофного пикопланктона поверхностных слоев воды с ростом общей биомассы фитопланктона. Однако вклад фототрофного пикопланктона в биомассу фитопланктона отрицательно коррелирует с его общей биомассой и минимален в высокоэвтрофных и гипертрофных озерах. Наибольшее значение ФПП, видимо, имеет в стратифицированных озерах с анаэробным гипolimнионом и сильными градиентами условий среды, где (как в оз. Кузнечиха) он может образовывать металимнические максимумы с очень высокой численностью и биомассой, достигающей единиц мг/л.

Е.Н. Унковская¹, О.В. Палагушкина², Н.Г. Тарасова³

СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

¹ Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник», п. Садовый, Россия, l-unka@mail.ru

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия, opalagushkina@mail.ru

³ Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия, tnatahg@mail.ru

E.N. Unkovskaya¹, O.V. Palagushkina², N.G. Tarasova³

PHYTOPLANKTON COMMUNITIES STRUCTURE IN THE VOLZHSKO-KAMSKY RESERVE LAKES

¹ Volzhsko-Kamsky National Nature Biosphere Reserve, Sadoviy, Russian Federation, e-mail: l-unka@mail.ru

² Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation, opalagushkina@mail.ru

³ Institute of Volga Basin Ecology RAS, Toliatty, Russian Federation, tnatahg@mail.ru

На территории Раифского участка Волжско-Камского заповедника (Республика Татарстан) расположены 12 разнотипных озер, связанных в единую гидрологическую систему двумя малыми реками. Таксономический состав, характеристика фитопланктонных сообществ в пелагиале и зарослях макрофитов, вертикальное распределение и структура летней биомассы фитопланктона модельных озер заповедника рассматривались ранее (Палагушкина и др., 2002, 2011; Унковская и др., 2010, 2013; Жариков и др., 2011). В настоящей работе анализируется многолетняя (1995–2010 гг.) динамика летней структуры фитопланктона разнотипных озер. Оз. Раифское – проточное, стратифицированное карстово-суффозионного происхождения, расположено в долине р. Сумка; площадь водного зеркала (S) $0,31 \text{ км}^2$, максимальная глубина (H_{\max}) 19,1 м. Оз. Линево (S $0,07 \text{ км}^2$, H_{\max} 5,4 м) – проточное, карстово-суффозионного происхождения, расположено в долине р. Сер-Булак. Оз. Илантово

(S 0,04 км², H_{max} 2 м) – бессточное, заболачивающееся, суффозионного происхождения, относится к долине р. Сумка. Оз. Долгое (S 0,01 км², H_{max} 12,5 м) – бессточное, стратифицированное, по происхождению «окно» в торфяном болоте, относится к долине р. Сер-Булак.

В составе фитопланктона озер выявлено 552 таксона водорослей рангом ниже рода, по числу видов преобладали зеленые (Chlorophyta), диатомовые (Bacillariophyta) и эвгленовые (Euglenophyta) водоросли. В оз. Раифское определено 289 таксонов, в оз. Линево – 214, в оз. Илантово – 209, в оз. Долгое – 114.

Оз. Раифское характеризовалось во все годы исследования летними пиками численности и биомассы фитопланктона (только в 1996 г. был отмечен осенний пик численности). В летний период численность изменялась от 0.37 до 96.7 млн кл./л и формировалась за счет мелкоклеточных зеленых (доминант *Coelastrum microporum* Nag) и синезеленых (доминанты *Microcystis pulverea* (Wood.) Elenk., *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs и *Lyngbya limnetica* Lemm.) водорослей. В аномально жарком 2010 г. с конца июля, при максимальном прогреве воды (27–29 °С) наряду с обычно доминирующими видами синезеленых началось развитие высокотоксичных водорослей *Planktolyngbya limnetica* (Lemmermann) Kottárková-Legnerová et Cronberg (32.7 %) и *Limnothrix redekei* (Van Goor) Meffert. Численность последней в конце вегетационного сезона достигла максимума (62.7 % общей численности). Биомасса фитопланктона формировалась, в основном, за счет диатомовых, эвгленовых, зеленых и, в отдельные годы, синезеленых водорослей и изменялась от 4.4 до 46.1 г/м³. Характерно увеличение биомассы с июня (1.3 г/м³) до максимальных величин в середине июля, составляющее в разные годы от 1.6 до 5.7 г/м³, и постепенное снижение к августу (0.82 г/м³). Максимальные значения биомассы в 1995–1999 гг. формировались зелеными хлорококковыми водорослями с доминированием *Coelastrum microporum* (16.3 г/м³), *Scenedesmus bijugatus* (Turp.) Kütz. (0.1 г/м³), *Oocystis lacustris* Chod. (0.4 г/м³); вольвоксовыми с преобладанием *Phacotus coccifer* Korschik. (4.0 г/м³), диатомовыми – *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. (11.3 г/м³), *Stephanodiscus hantzscii* Grun. (0.67 г/м³), эвгленовыми – *Trachelonomas planktonica* Swir. (0.7 г/м³), *Tr. volvocina* Ehr. (0.37 г/м³), синезелеными *Anabaena flos-aque* (1.10 г/м³). В 2000–2005 гг. значительную долю (до 33 % общей биомассы) составляли динофитовые (доминант *Peridinium* sp. – 1.47 г/м³) и золотистые (*Mallomonas acaroides* Perty – 1.21 г/м³). В 2010 г. в структуре биомассы пелагического планктона отмечались изменения: биомасса формировалась за счет желтозеленых водорослей (61.4 % общей биомассы) или за счет динофитовых (49.8 %) со значительной долей синезеленых (26.1 %).

В оз. Линево в первые годы исследования летняя численность фитопланктона изменялась от 6.5 до 53 млн кл./л. и формировалась синезелеными водорослями (77–98 % общей численности) с преобладанием *Aphanizomenon flos-aque* и *Microcystis aeruginosa*, что характерно для эвтрофных водоемов. В 2000 г. численность формировалась за счет синезеленых, зеленых и диатомовых (последние составляли от 38.4 до 70 %). С 2005 г. значительную долю численности составляли зеленые водоросли (63.6 %) с доминированием *Eudorina cylindrica* Korsch. и эвгленовые с доминированием *Tr. volvocina*. Структура летней биомассы озера формировалась за счет разных отделов водорослей: в 1995 г. основную долю составляли эвгленовые, диатомовые, зеленые, в 1996–1999 гг. – синезеленые. В 2000–2005 гг. в биомассе доминировали эвгленовые, составляя от 31 до 81% общей биомассы (до 13.9 г/м³), с доминированием *Tr. volvocina* (1.13 г/м³). С 2005 г. в биомассу фитопланктона, кроме эвгленовых, значительную долю стали вносить зеленые водоросли (до 37.7 %) с доминированием *Pteromona aculeata* Lemm.

Летняя численность фитопланктона оз. Илантово в разные годы формировалась за счет зеленых (34.4–72.9 %), синезеленых (20.8–91.8 %) и золотистых водо-

рослей. Летняя биомасса изменялась от 0.16 г/м³ до 20.2 г/м³ и формировалась, чаще всего, за счет золотистых (до 2.07 г/м³) и динофитовых (до 17.1 г/м³). С 2005 г. значительную долю в структуре биомассы занимают эвгленовые водоросли с доминированием *Tr. volvocina* (41.3 %). В 2010 г. биомасса – на единственном из исследованных водоемов – формировалась за счет желтозеленых водорослей (31–52.7 %) с доминантами *Tetraplecton laevis* (Bourrelly) Ettl (31.0%) и *Tetraedriella gigas* (Pasch.) Ded.-Sheg. (50.2%).

Оз. Долгое характеризовалось преобладанием по численности двух отделов: синезеленых и золотистых. Общая численность изменялась от 1.38 до 11.8 млн кл./л, доминантами на протяжении 1999–2001 гг. являлись синезеленая водоросль *Aphanizomenon flos-aquae* и золотистая *Pseudokephyrion obtusum* Schmidle. Они формировали достаточно стабильный комплекс, составляя 40 и 20 % общей численности соответственно. В 2003–2004 гг. доминирующую позицию стали занимать зеленые хлорококковые водоросли, являющиеся сначала субдоминантами, а затем и доминантами (*Dactylosphaerium jurisii* Hind. (55.9 % общей численности) и *Crucigenia tetrapedi* (Kirchn.) W.et W.). Биомасса формировалась за счет эвгленовых или динофитовых водорослей. В последние годы доминантом по биомассе стал *Peridinium bipes* Stein (до 55.3–83.2 % общей биомассы), субдоминантом – *Tr. Volvocina* (15.7–26.8 % общей биомассы).

Таким образом, структура пелагического фитопланктона озер Волжско-Камского заповедника значительно изменялась за период исследований в зависимости от происхождения, морфометрических показателей и трофности водоемов.

Палагушкина О.В., Бариева Ф.Ф., Унковская Е.Н. Видовой состав, биомасса и продуктивность фитопланктона озер Раифского участка Волжско-Камского заповедника и его охранной зоны // Тр. Волжско-Камского гос. природного заповедника. 2002. Вып. 5. С. 37-52

Унковская Е.Н., Жариков В.В., Быкова С.В. и др. Сообщества планктонных организмов оз. Раифское (Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник). I. Биоразнообразие планктонных сообществ различных биотопов озера Раифское // Изв. Самарского НЦ РАН. 2010. Т.12, № 1(5). С. 1453-1460

Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Уманская М.В., и др. Сообщества планктонных организмов оз. Раифское (Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник). II. Вертикальная гетерогенность пелагического планктонного сообщества // Изв. Самарского НЦ РАН. 2011. Т.13, № 1. С. 180-187.

Унковская Е.Н., Палагушкина О.В. Характеристика планктонных альгоценозов разнотипных озер Волжско-Камского заповедника // Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 238-245.

Унковская Е.Н., Тарасова Н.Г., Мухортова О.В. Структура планктонных сообществ озера Раифское (Волжско-Камский заповедник) в условиях 2010 года // Вторая Всерос. науч. конф. «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов». Казань. 2013. С. 275–283.

А.С. Филиппов

МАТЕРИАЛЫ К АЛЬГОФЛОРЕ ПРИТОКОВ ВЫШНЕВОЛОЦКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Тверской государственной университет, г. Тверь, Россия, asphilippov@yandex.ru

A.S. Filippov

ALGAE FEATURE OF VYSHNEVO-LOTSKOYE RESERVOIR TRIBUTARIES

Tver State University, Tver, Russia, asphilippov@yandex.ru

Вышневолоцкое водохранилище расположено в Вышневолоцком районе Тверской обл. Современная площадь водоема при нормальном подпорном уровне 163.5 м БС составляет 109 км², площадь водосборного бассейна – 4320 км². Водохранилище находится в ведении ФГУП «Канал им. Москвы» и осуществляет сезонное регулирование стока, его основное предназначение – пополнение водных ресурсов Ивановского водохранилища. Главная роль в питании водохранилища принадлежит рекам Цна и Шлина, которая приносит воды, сбрасываемые из Шлинского водохранилища. Вышневолоцкое водохранилище и его притоки играют важную роль в

питании Иваньковского водохранилища, их экологическое состояние также может влиять на качество воды последнего.

Цель работы – альгологические исследования рек Граничная, Цна и Шлина и оценка степени органического загрязнения изучаемых объектов. Пробы были отобраны в 2011–2012 г. в следующих створах: 1. р. Граничная – д. Горшково. 2. р. Шлина – п. Красномайский. 3. р. Цна – д. Рученая. Сбор и обработку проб проводили по стандартным гидробиологическим методикам (Кузьмин, 1975). В качестве меры видового сходства нами был использован коэффициент Жаккара (K_j). Индексы сапробности (S) были рассчитаны по методике Пантле-Бука в модификации Сладечка.

На исследуемых участках было зарегистрировано 123 таксона водорослей рангом ниже рода, принадлежащих к 8 отделам. Ведущую роль в формировании флоры фитопланктона притоков Вышневолоцкого водохранилища играли зеленые водоросли, максимальное развитие которых наблюдалось в р. Шлина (створ № 2). На втором месте были диатомовые водоросли, максимальное развитие которых также наблюдалось в створе № 2. Развитие водорослей других отделов было сходным на всех станциях. Максимальное сходство показывает пара р. Граничная – р. Цна ($K_j = 0.256$), наибольшие различия выявлены в двух остальных парах: р. Граничная – р. Шлина ($K_j = 0.132$) и р. Цна – р. Шлина ($K_j = 0.103$).

Численность фитопланктона в притоках Вышневолоцкого водохранилища варьировала от 65 тыс. кл./л (р. Граничная, февраль 2011 г.) до 1260 тыс. кл./л (р. Цна, июль 2012 г.). Основу численности на р. Шлина в зимний период формировали цианопрокариоты, в весенний период – криптофитовые, в летний – зеленые, в осенний – диатомовые водоросли. На реках Граничная и Цна основными доминантами зимой были диатомовые, в вегетационный период – зеленые и диатомовые водоросли.

Доминирующими по численности видами на р. Граничной выступали: в зимний период – *Aulacoseira ambigua*, в летний период – виды порядка Chlorococcales, *Chlorella sp.*, *Didymocystis planctonica*. На р. Цна основным доминантом летней флоры был *Cocconeis sp.* Зимой доминирующими по численности видами на р. Шлине были *Oscillatoria planctonica*, *Microcystis wesenbergii*, весной – *Chroomonas acuta*, летом – *Microcystis holsatica*, виды порядка Chlorococcales, *Coelastrum microporum*, осенью – *Aulacoseira subarctica*, *Chroomonas acuta*. Общая биомасса фитопланктона изменялась по створам от 0.03 мг/л (р. Граничная, февраль 2011 г.) до 1.02 мг/л (р. Шлина, май 2011 г.).

Доминирующими по биомассе видами были представители диатомовых и криптофитовых водорослей: на р. Граничной – *Aulacoseira ambigua*, *Cocconeis sp.*, на р. Цна – *Cocconeis sp.*, на р. Шлина: в вегетационный период – *Chroomonas acuta*, *Aulacoseira subarctica*, в зимний период – *Stephanodiscus neoastreae*.

Основу фитопланктона изучаемых участков формировали планктонные и планктонно-бентосные формы – 33 % и 31 % соответственно от числа таксонов с известными данными по приуроченности к местообитанию. По отношению к солености воды преобладали индифференты (71 %), галофилы составляли 17 %. Для фитопланктона изучаемых участков характерно преобладание космополитных форм (36 таксонов), значительную долю составляли голарктические виды – 12 таксонов (17% числа таксонов с известной географической приуроченностью). Было зарегистрировано 30 таксонов, известных своим отношением к рН среды. Среди них преобладали индифференты (47 %) и алкалофилы (40 %). Степень органического загрязнения вод изучаемых участков оценивали по 63 таксонам (51 % от общего списка), большинство которых относится к β -мезосапробам (32 %). На р. Граничная индекс S варьировал от 1.86 (июль 2012) до 2.50 (июль 2011 г.) при среднем значении 2.18. На р. Цна индекс S практически не изменялся и в среднем был равен 2.3. На р. Шлина индекс S изменялся от 1.63 (февраль 2011 г.) до 2.30 (октябрь 2011 г.). Результаты сапро-

биологического анализа позволяют отнести воды исследуемых объектов к классу вод удовлетворительной чистоты, к разрядам достаточно чистых и умеренно-загрязненных вод (Баринаова и др., 2006).

Баринаова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоазнообразия водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель Авив: PiliesStudio, 2006. 498 с.
Кузьмин Г.В. Фитопланктон: видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. С.73–87.

Л.Ю. Халиуллина, Р.М. Сабиров
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРосЛЕЙ
Р. СТЕПНОЙ ЗАЙ И ЗАИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия, Liliya-kh@yandex.ru

L.Y. Khaliullina, R.M. Sabirov
SPATIAL STRUCTURE OF PLANKTONIC ALGAE IN RIVER STEPNOY ZAY AND
ZAINSK RESERVOIR

Kazan Federal University, Kazan, Russia, Liliya-kh@yandex.ru

Река Степной Зай (левый приток р. Камы) протекает по густо населенной территории Татарстана с интенсивным развитием нефтедобывающей, газовой и энергетической промышленности, также сельского хозяйства (Информационный бюллетень..., 2007). На 71 км от устья река зарегулирована Заинским водохранилищем, которое создано в 1965 г. как водоем-охладитель Заинской ГРЭС. За период существования в ложе водохранилища накопилась значительная масса вторичных отложений, что привело к сокращению его объема, образованию обширных мелководий и интенсивному зарастанию высшей водной растительностью. В нижней части водохранилища расположено садковое рыбное хозяйство (Иванов и др., 2011). Все эти факторы оказывают влияние на качество воды реки.

Бассейн р. Степной Зай расположен на северном склоне Бугульминской возвышенности, в пойме и в устьевой части имеются болота. Гидрологический режим реки характеризуется высоким половодьем и низкой продолжительной меженью, а также средней водностью. Питание реки смешанное, преимущественно снеговое (62 %). До разработки нефтяных месторождений вода в реке относилась к гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевому типу, с повышенной минерализацией (300–600 мг/л). В настоящее время качественный состав воды меняется от гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевой (исток) до хлоридно-гидрокарбонатно-натриевой (устье). Минерализация повышенная, местами очень высокая (более 2000 мг/л), вода очень жесткая весной (9–12 мг-экв/л) и в межень (9–20 мг-экв/л).

В данном сообщении проанализированы результаты исследований сезонной и пространственной динамики фитопланктона на р. Степной Зай в 2012 г. В период открытой воды отбор интегрированных проб фитопланктона осуществляли на 10 постоянных станциях 16 мая, 4 июля и 10 октября. Станции отбора проб расположены в районе крупных городов выше и ниже по течению реки.

В фитопланктоне исследованных участков было обнаружено 124 таксона водорослей, принадлежащих 8 отделам. Наибольшее количество таксонов выявлено в отделах зеленых и диатомовых – 41.1% и 37.9%. Другие группы менее разнообразны: синезеленых – 7.3%, эвгленовых – 5.6%, золотистых – 4.8%, динофитовых – 2.4% и криптофитовых – 0.8%. Флористический список водорослей изменяется в течение всего вегетационного периода, и общее число регистрируемых таксонов приближается к максимуму в летне-осенний период. По численности и биомассе также преобладают зеленые и диатомовые водоросли. В пробах, собранных в мае, средняя по реке численность и биомасса фитопланктона составляли 3.72 млн кл./л и 12.1 мг/л. На долю диатомовых водорослей приходилось 69.9% численности и 84.1% биомассы. Зеленые водоросли в этих пробах составили 16.3% численности и 6.2%

биомассы. В июле общая численность и биомасса фитопланктона равнялись 3.27 млн кл./л и 3.32 мг/л, при этом 80.0% численности и 67.5% биомассы составляли зеленые вольвоксовые и хлорококковые водоросли, а 16.5% численности и 27.6% биомассы – диатомовые. В октябре, средние показатели фитопланктона равнялись 1.22 млн кл./л и 1.52 мг/л. Наиболее высокой численностью и биомассой (70.1% и 91.9%) характеризовались диатомовые. Зеленые водоросли составили 17.7% общей численности и 2.7% общей биомассы, а на станциях, расположенных выше Заинского водохранилища, 2.4% биомассы составили динофитовые. Наиболее высокая биомасса водорослей наблюдается в пробах, взятых в зарегулированной части реки (Заинское водохранилище) – до 59.1 мг/л, 93.1% приходится на долю диатомовых. На этих же станциях наблюдается возрастание биомассы и численности эвгленовых и золотистых водорослей.

Дополнительно проведенным исследованиям были отобраны 10 альгологических проб на постоянной станции у н.п. Светлое озеро (Заинский район, 12 км к югу от ж.д. ст. Заинск). Станция расположена в среднем течении реки выше Заинского водохранилища. Выше по течению расположены 4 крупных города. Пробы отбирали в разных типах биотопов реки (заросшей макрофитами рогоза узколистного – *Typha angustifolia* L. и без зарослей). Основной вклад в общую численность и биомассу фитопланктона исследованных участков вносят диатомовые водоросли родов *Melosira*, *Cocconeis*, *Navicula*, *Synedra* (от 70 до 91%). В фитопланктоне зоны зарослей преобладают пеннатные, на участках с открытой водой – центрические диатомовые водоросли. Средняя численность и биомасса составляли 3.27 млн кл./л и 6.5 мг/л – у берега, заросшего макрофитами, и 2.32 млн кл./л и 3,4 мг/л – у берега без зарослей.

В ходе исследований были рассчитаны индексы сапробности и трофности Милиуса по биомассе фитопланктона. Воды р. Степной Зай в 2012 г. в течение большей части вегетационного сезона относятся к мезасапробному типу и соответствуют умеренно-загрязненной зоне, причем для станций, расположенных ниже крупных населенных пунктов, характерны более высокие показатели сапробности. Трофический статус рассматриваемых участков реки большей частью соответствует мезотрофному, а в периоды максимального развития планктонных водорослей – часто эвтрофному типу.

Информационный бюллетень о состоянии поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Республики Татарстан за 2006 год. Казань, 2007. 180 с.

Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р., Зиганшин И.И., Осмелкин Е.В. Донные отложения Заинского водохранилища // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2011. Т. 153, кн. 1. С. 190–202.

О.Н. Ясакова

**ФИТОПЛАНКТОН СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ
В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2007 ГОДА**

Институт аридных зон ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия, yasak71@mail.ru

O.N. Yasakova

PHYTOPLANKTON IN NORTHEASTERN PART OF THE BLACK SEA IN SUMMER 2007

Institute of Arid Zones of the Southern Scientific Centre RAS, Rostov-On-Don, Russia

Начиная с прошлого века, изучение фитопланктона Черного моря в основном было сосредоточено на северо-западном шельфе, открытое побережье северо-восточной части моря исследовано значительно слабее (Зернова, 1980; 1983; Незлин, Зернова, 1983; Вершинин и др., 2004). Нашей задачей было изучение вертикальной структуры качественного состава и количественного развития фитопланктона в российском секторе Черного моря. Пробы отбирали во время комплексной экспедиции НИС «Денеб» ЮНЦ РАН в июле 2007 г. в дневное время суток с борта судна на горизонтах 0, 5, 10, 20, 30 и 40 м в районе от Керченского пролива до Сочи. Для концентрирования проб применяли осадочный метод, фиксировали раствором

Люголя. Количественный учет фитопланктона производили с помощью микроскопа МИКМЕД-2 с увеличением $\times 200$ и $\times 400$. Для идентификации видов использовали общепринятые руководства (Киселев, 1950; Прошкина–Лавренко, 1963; Коновалова и др., 1989; Dodge, 1982; Tomas, 1997). Биомассу фитопланктона определяли, исходя из размеров и форм клеток по наиболее сходному геометрическому подобию, считая удельный вес водорослей равным единице (Кольцова, 1970; Сеничкина, 1978).

В акватории северо-восточной части Черного моря было обнаружено 57 видов фитопланктона, принадлежащих к 7 отделам: Bacillariophyta (диатомовые), Dinophyta (динофитовые), Euglenophyta (эвгленовые), Chlorophyta (зеленые), Cryptophyta (криптофитовые), Chrysophyta (золотистые), Cyanophyta (синезеленые). Максимальным таксономическим разнообразием характеризовались динофитовые (41 вид), качественно преобладали роды *Ceratium*: *C. furca*, *C. fusus*, *C. tripos*; *Prorocentrum*: *P. cordatum*, *P. compressum*, *P. micans*; *Dinophysis*: *D. acuta*, *D. caudata*, *D. rotundata*, *D. fortii* и *Protoberidinium*: *P. divergens*, *P. depressum*, *P. granii*, *P. steinii*. Значительное количество видов было отмечено у рода *Gymnodinium*: *G. elongatum*, *G. simplex*, *G. wulffii*. Также встречались представители родов *Alexandrium*, *Amphidinium*, *Gonyaulax*, *Gyrodinium*, *Oxytoxum*, *Katodinium*, *Diplopsalis*, *Heterocapsa*, *Oblea*, *Polykrikos*, *Scrippsiella*, *Torodinium* и споры водорослей. Диатомовые и другие отделы фитопланктона были представлены небольшим числом (1–7) видов. В пробах также были отмечены мелкие (6–8 мкм) автотрофные жгутиковые водоросли, не идентифицированные до вида (*Flagellata* sp.).

Средние значения численности и биомассы фитопланктона составили 31.0 тыс. кл./л и 0.24 г/м^3 . Количественные показатели фитопланктона верхнего слоя (0–5 м) составили 43.5 тыс. кл./л и 0.19 г/м^3 . Средняя численность (26.8 тыс. кл./л) в слое 10–40 м в 1.6 раза уступала, а биомасса (0.31 г/м^3), вследствие обильного развития крупных видов водорослей в 1.7 раз превышала величины верхнего горизонта моря.

Доминирующим отделом водорослей были Dinophyta – 42 % (39–49%) обилия и 86% (69–92%) общей биомассы фитопланктона. Основу численности 63% (78–56%) среди них формировали виды родов *Gymnodinium* и *Prorocentrum* (*P. cordatum* и *P. micans*). В меньшем количестве встречались *P. compressum*, *Scrippsiella trochoidea*, *Gyrodinium* sp., *Diplopsalis lenticula* – в сумме 18% общей численности динофитовых. Основу биомассы отдела 68% (45–72%) формировали крупноклеточные виды водорослей: *Ceratium furca*, *C. fusus*, *C. tripos*, около 20% биомассы приходилось на *Diplopsalis lenticula*, *Prorocentrum micans*, *Protoberidinium divergens*, *S. trochoidea*.

Во всем районе исследований в значительном количестве (37% численности фитопланктона) в этот период развивался нанопланктонный вид золотистых водорослей *Emiliania huxleyi*. На долю диатомовых приходилось около 11% (10–13%) общей численности и 12% (7–30%) биомассы фитопланктона. Среди них количественно преобладали *Pseudosolenia calcar-avis* и *Thalassionema nitzschioides* (40 и 50 % численности; 93 и 5 % биомассы отдела), которые были одинаково многочисленны во всем районе исследований, кроме района Сочи, где вид *T. nitzschioides* отсутствовал. Виды *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* и *Nitzschia tenuirostris* развивались на уровне субдоминант (9% численности отдела).

Представители других отделов планктонных водорослей в среднем по району исследований формировали не более 10% общей численности и 2% биомассы фитопланктона. Надо отметить, что в планктоне большей части исследуемой акватории присутствовали морские зеленые водоросли *Pterosperma undulatum* (диаметром до 20 мкм) – со средней численностью 0.15 тыс. кл./л.

В Прикерченском районе, вероятно в результате некоторого опреснения и обогащения питательными веществами основного биотопа планктонных водорослей во-

дами Азовского моря, в верхнем горизонте моря было отмечено значительное развитие криптофитовых водорослей рода *Plagioselmis*, синезеленых рода *Lyngbya* и фитофлагеллят, в сумме они формировали от 12 до 30 % общей численности фитопланктона. Здесь же в незначительном количестве вегетировали эвгленовые (0.27 тыс. кл./л) и зеленые водоросли – *Monoraphidium contortum* (0.8–3.4 тыс. кл./л).

Вершинин А.О., Морчуков А.А., Суханова И.Н. и др. Сезонные изменения фитопланктона в районе мыса Большой Утриш Северо - Кавказского берега Черного моря в 2001–2002 гг. // Океанология. 2004. Т. 44. №3. С. 399–406.

Зернова В.В. Изменение количества фитопланктона в течение года в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря // Экосистемы пелагиали Черного моря. М: Наука, 1980. С. 96–105.

Зернова В.В. Сезонные изменения видовой структуры фитоцена северо-восточной части Черного моря в 1978 г. // Сезонные изменения черноморского планктона. М: Наука, 1983. С. 43–65.

Киселев Н.А. Панцирные жгутиконосцы. М-Л: АНСССР, 1950. 280 с.

Кольцова Т.Н. Определение объема и поверхности клеток фитопланктона // Биол. науки, 1970. № 6. С. 114–119.

Коновалова Т.В., Орлова Т.Ю., Паутова Л.А. Атлас фитопланктона Японского моря. Л.: Наука, 1989, 160 с.

Незлин Н.П., Зернова В.В. Видовой состав фитопланктона северо-восточной части Черного моря и характеристика размеров отдельных его представителей // Сезонные изменения черноморского планктона. М: Наука. 1983. С. 12–34.

Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли планктона Черного моря. АНСССР. 1963. 216 с.

Сеничкина Л.Г. К методике вычисления объемов клеток планктонных водорослей // Гидробиол. журн. 1978. Т. 14. Вып. 5. С. 102–106.

Dodge J. D. Marine dinoflagellates of the British Isles. London: HMSO. 1982. 301 p.

Tomas C. (ed.). Identifying marine phytoplankton. San Diego, CA. Academic Press. Harcourt Brace Company. 1997. 821 p.

P.L.P. Cadelina, A.T. Yciguez
PHYTOPLANKTON COMMUNITY SUCCESSION IN SORSOGON BAY, PHILIPPINES DURING
SOUTHWEST MONSOON SHIFT

The Marine Science Institute, University of the Philippines, Diliman, Philippines,
lawrence.cadelina@gmail.com

Harmful algal blooms are recurring phenomenon in Philippine waters potentially resulting economic losses to the local communities and to the mariculture industry, as well as illness and fatalities to consumers. Sorsogon Bay in the Bicol region of the Philippines, in particular, has experienced recurrent shellfish bans due to blooms of the toxic dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (Yciguez et al., 2012). Investigations into these blooms have shown that the monsoon system can have a large effect on the onset and decline of the blooms. In Sorsogon Bay, blooms tend to occur during the southwest monsoon (July – September) through the transition months (October-November) and eventually declining. Studies conducted in monsoon-affected waters suggest shifting phytoplankton communities along with shifting monsoon (Tarran et al., 1999; Parab et al., 2006; D'Costa et al., 2012; Shang et al., 2012). This study aims to investigate the changes occurring in the composition of the phytoplankton communities present in Sorsogon Bay, Philippines during the shift from Southwest monsoon to the transitory months. This investigation would help in determining the prevailing phytoplankton community in a season, particularly the successional dynamics in relation to blooms. This can be used to help in building an early-warning system for harmful algal blooms.

D'Costa P.M., Anil, A.C. Diatom community dynamics in a tropical, monsoon-influenced environment: West coast of India // Continental Shelf Research. 2012. V. 30. P. 1324–1337.

Parab S.G., Matondkar S.G.P., Gomes H.R., Goes J.I. Monsoon driven changes in phytoplankton populations in the eastern Arabian Sea as revealed by microscopy and HPLC pigment analysis. // Continental Shelf Research. 2006. V. 26. P.2538-2558

Shang S., Li L., Li J., et al. Phytoplankton bloom during the northeast monsoon in the Luzon Strait bordering the Kuroshio // Remote Sensing of Environment. 2012. V. 124. P. 38-48.

Tarran G.A, Burkil P.H., Edwards E.S., Woodward E.M.S. Phytoplankton community structure in the Arabian Sea during and after the SW monsoon, 1994 // Deep Sea Research. Pt 2: Topical Studies in Oceanography. 1999. V. 46. P. 655–676.

Yciguez A.T., Cayetano A., Villanoy C.L., et al. Investigating the roles of intrinsic and extrinsic factors in the blooms of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* using an individual-based model // Procedia Environmental Science. 2012. V. 13. P. 1462–1474.

M.G. Camoying^{1,2}, A.T. Yciguez¹
**PHYTOPLANKTON COMPOSITION IN A SARDINE-DOMINATED COASTAL AREA
IN MOALBOAL, CEBU, PHILIPPINES**

¹The Marine Science Institute, University of the Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines

²Institute of Environmental Science and Meteorology, University of the Philippines,
Diliman, Quezon City, mg.camoying@gmail.com

Phytoplankton sampling was conducted in Moalboal, Cebu, Philippines in January 2014. Samples were collected from stations along a transect of high to low sardines occurrence. This study aimed to investigate the phytoplankton composition in the study site that may be associated with the distribution and abundance of sardines in the area. Results showed that the pennate diatoms *Thalassionema* sp., *Pseudo-nitzhcia* sp. and the centric diatoms *Coscinodiscus* sp. and *Chaetoceros* sp. dominated in stations where a swarm of sardines was encountered. These diatom genera were also the most abundant phytoplankton groups in Dipolog-Sindangan Bay in Zamboanga, a well-known key sardine fishery area in the Philippines, during the northeast monsoon (NEM) season in 2012 and 2013.

Секция 4. Использование водорослей в оценке качества среды. Многолетний мониторинг. Section 4. Use of algae in the assessment of environmental quality. Long-term monitoring.

А.Л. Афанасьева, И.С. Трифонова
САПРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕТНЕГО ФИТОПЛАНКТОНА
ОЗЕР ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

Институт озероведения РАН, г. Санкт Петербург, Россия, afal359@mail.ru

A.L. Afanacieveva, I.S. Trifonova
SAPROBIOLOGICAL CHARACTERISTIC OF SUMMER PHYTOPLANKTON IN LAKES OF THE
KARELIAN ISTMUS CENTRAL PART

Institute of Limnology, RAS, St. Petersburg, Russia, afal359@mail.ru

На территории Карельского перешейка расположено большое количество озер, значительное антропогенное воздействие на которые приводит к существенным изменениям их состояния, прежде всего к эвтрофированию, что вызывает необходимость мониторинга состояния озерных экосистем и качества их вод.

В июле 2009–2012 гг. проводили комплексное обследование 20 разнотипных озер центральной части Карельского перешейка. Озера Красное, Правдинское, Волочаевское и Вишневское – водоемы Северной низины, принадлежат к Вуоксинской озерно-речной системе. На Центральном плато исследованы озера Мичуринское, Медведевское, Охотничье, Борисовское, М. Луговое, Б. Луговое, Волынское и озера Морозовской системы: Жемчужное, Б. Морозовское, Журавлевское, Светлое, Узорное и Берестовое. К бассейну Финского залива относились озера Нахимовское, Чернявское и Победное. Максимальные глубины варьировали от 1.8 м до 22 м, прозрачность – от 0.2 до 4 м, цветность воды в большинстве озер – от 8 до 50 град. Pt-Co шкалы. Более высокая цветность 80–160 град. отмечалась в мезогумозных мезотрофных и эвтрофных озерах, а максимальная (460 град.) – в полигумозном оз. М. Луговое. Значения pH изменялись от 5 до 8, возрастая в гипертрофных озерах до 9.3. По содержанию P_{общ.} (26–38 мкг P/л) большинство озер – мезотрофные. В эвтрофных озерах оно составляло 40–60, а в гипертрофных – до 140 мг P/ л.

В альгофлоре исследованных озер обнаружено 360 видов водорослей (401 таксон рангом ниже рода), относящихся к 9 отделам: Cyanophyta – 36 таксонов, Euglenophyta – 25, Dinophyta – 11, Cryptophyta – 7, Raphidophyta – 2, Chrysophyta – 17, Bacillariophyta – 210, Xanthophyta – 3, Chlorophyta – 90. Во всех водоемах по числу таксонов доминировали диатомовые водоросли. Повсеместно встречались *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *T. flocculosa* (Roth.) Kütz., *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Aulacosira ambigua* (Grun.) Sim., *A. subarctica* (O. Müll.) Haworth, *A. granulata* (Ehr.) Sim. и многочисленные виды родов *Cyclotella* и *Stephanodiscus*. Среди зеленых водорослей наиболее разнообразны хлорококковые (63 таксона), из которых в состав массовых видов некоторых озер входили *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Oocystis solitaria* Wittr. и *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. et G. S. West. Почти во всех водоемах встречались *Botryococcus braunii* Kütz., *O. solitaria*, *Tetraedron minimum* (A. Br.) Hansg. и *S. quadricauda*. Среди десмидиевых наиболее разнообразны были роды *Closterium* и *Cosmarium*. В планктоне часто встречались *Staurastrum gracile* Ralfs и *Closterium acutum* (Lyngb.) Breb. Синезеленые водоросли особенно разнообразны в планктоне эвтрофных озер. Наиболее обычны *A. lemmermanii* P. Richt., *A. viguieri* Denis et Frémy, *A. spiroides* Kleb., *M. aeruginosa* (Kütz.) emend. Elenk., *Aphanizomenon flos-aqua* (L.) Ralfs и *Planctolyngbya limnetica* (Lemm.) Anagn. et Kom. Максимальное разнообразие и обилие золотистых водорослей зафиксировано в озерах Морозовской системы. Из эвгленовых наиболее распростра-

нены виды рода *Trachelomonas*. В большинстве озер развивались *T. hispida* (Perty) Stein emend. Defl. и *T. volvocina* Ehr. Максимальное число эвгленовых обнаружено в гипертрофном оз. Волочаевском – 22 таксона. Из криптофитовых почти во всех водоемах встречались виды рода *Cryptomonas* и *Chroomonas acuta* Uterm., из динофитовых – виды рода *Glenodinium* и *Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Bergh. В 7 озерах развивалась рафидофитовая водоросль *Gonyostomum semen* Diesing.

Биомасса фитопланктона в разнотипных озерах колебалась от 1 г/м³ в оз. Светлом до 48 г/м³ в оз. Вишневском. В глубоководных мезотрофных озерах Мичуринском, Красном и Правдинском основу биомассы создавали диатомовые водоросли, в оз. Нахимовском и Борисовском – динофитовые, в оз. Узорном – синезеленые, в оз. Берестовом – криптомонады. В глубоководных слабomezотрофных озерах Охотничьем и Светлом биомасса определялась развитием рафидофитовых и золотистых водорослей. В мелководном мезотрофном оз. Жемчужном в планктоне доминировали синезеленые водоросли, в мелководном слабomezотрофном оз. М. Луговом с высокой цветностью и низкой рН – золотистые или криптомонады. В мелководных эвтрофных водоемах преобладали синезеленые водоросли (озера Журавлевское и Б. Морозовское), диатомовые (озера Волынское и Б. Луговое) и рафидофитовые (оз. Медведевское). В мелководных гипертрофных водоемах, где отмечался максимальный уровень развития фитопланктона, основу биомассы создавали: в оз. Волочаевском рафидофитовые и эвгленовые водоросли, в оз. Победном – зеленые (мелкие хлорококковые), в оз. Вишневском – синезеленые. В целом, состав, структура и биомасса летнего фитопланктона хорошо отражает трофический статус озер (Трифорова, 1990). Исследованные озера Б. Морозовское, Журавлевское и Борисовское можно считать эвтрофными, Победное, Вишневское и Волочаевское – гипертрофными, остальные 14 озер – мезотрофными.

Анализ видового состава по существующим спискам сапробных организмов (Водоросли..., 1989; Sladecsek, 1973) показал, что виды, имеющие индикаторное значение в отношении к загрязнению органическим веществом, составляли 75% общего списка (299 таксонов). В отдельных озерах их доля варьировала от 74 до 91%. При этом 39% всех обнаруженных видов-индикаторов – β-мезосапробы, характеризующие условия средней степени загрязнения. В планктоне озер на их долю приходилось от 36 до 57% общего числа индикаторов. Олигосапробы и промежуточная группа (β-олиго- и олиго-β-мезосапробы составляли соответственно 23 и 20% общего числа индикаторов. Доля олигосапробов в гипертрофных озерах сокращалась до 2%, наибольшей она была в кислых озерах Охотничьем и М. Луговом - до 24%. Роль ксеносапробов (включая х-о-, о-х- и х-β-мезосапробов) – показателей чистых вод, была невелика – 3% общего списка. Лишь в полигуменных и кислых озерах М. Луговом, Б. Луговом и оз. Охотничьем они составляли до 5%. Количество обитателей зон высокого загрязнения – α-мезо-, α-мезо-полисапробов и промежуточной группы α-β- и β-α-мезосапробов составляло по 6.5% общего списка обнаруженных индикаторов. Процент этих видов был наиболее высоким в гипертрофных озерах – 16 – 18%, наименьшим – в кислом полигуменном М. Луговое (8%).

Значения индекса сапробности по Пантле-Букк варьировали в пределах 1.65-2.38. Минимальные величины индекса отмечены в озерах Светлое и Нахимовское, где условия приближаются к олигосапробной зоне. В большинстве изученных озер показатели индекса соответствовали β-мезо-сапробной зоне, так что даже гипертрофные озера можно считать умеренно-загрязненными. В целом, все исследованные водоемы по степени сапробности летнего фитопланктона относятся к III классу качества вод (удовлетворительной чистоты) и могут считаться слабо загрязненными. В то же время, результаты сапробиологического анализа показывают, что большинство индивидуальных индикаторных валентностей планктонных водорослей требуют

уточнения, так как при широком диапазоне трофического статуса озер их индексы сапробности по фитопланктону достаточно близки.

Трифенова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. 1990. 184 с.

Водоросли. Справочник. / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.

Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // Archiv Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie. 1973. Ht. 7. P. 1–218.

О.П. Баженова

**ОСНОВНЫЕ ИТОГИ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ФИТОПЛАНКТОНА
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ**

Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск, Россия, olga52@bk.ru

O.P. Bazhenova

**THE MAIN RESULTS OF THE CONTINUOUS PHYTOPLANKTON MONITORING OF THE WATER
BODIES IN OMSK PRIIRTYSHYE**

P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia, olga52@bk.ru

Альгологические исследования рек и озер Омского Прииртышья регулярно ведутся с середины прошлого века. Изучение водорослей Иртыша, его притоков и озер бассейна началось в 50-е годы XX века группой ученых из Омского медицинского института, возглавляемой А.П. Скабичевским – крупнейшим советским альгологом. Основное внимание было уделено санитарно-биологическому состоянию разнообразных водных объектов. По данным многолетних исследований был составлен систематический список альгофлоры Омского Прииртышья, включающий 1002 таксона рангом ниже рода (Андреев и др., 1963). Указанные сведения имеют большое значение как фоновые данные для биомониторинга и широко используются в настоящее время. Следующий этап в изучении альгофлоры региона связан с научными исследованиями кафедры экологии и биологии ОмГАУ. Эти работы начались в 1998 г. и затронули наиболее важные водные объекты – трансграничную р. Иртыш, ее основные притоки, наиболее крупные и значимые для рыбного хозяйства и рекреации озера и городские водоемы.

В результате работ был значительно расширен таксономический список водорослей и цианобактерий Омского Прииртышья, установлен трофический статус и дана оценка качества воды обследованных водных объектов. При изучении фитопланктона верхнего (Казахстан) и среднего (Омская область) течения Иртыша установлен современный трофический статус реки, определены основные направления изменения речной экосистемы в условиях зарегулированного стока. Установлено, что Иртыш относится к категории природных объектов с сильно преобразованными экосистемами, и дальнейшее усиление антропогенной нагрузки может привести к катастрофическим последствиям (Баженова, 2006). Эвтрофный статус реки и преобладание в составе фитопланктона цианобактерий послужили основой при выборе проекта низконапорного гидроузла в районе г. Омска, предназначенного для предотвращения угрозы истощения водных ресурсов Иртыша.

В напряженном состоянии находятся экосистемы большинства притоков Иртыша на территории Омской обл., из-за малого расхода воды не справляющихся с антропогенным воздействием. Экосистемы рек Омь и Уй находятся в состоянии антропогенного экологического напряжения, рек Тара, Шиш и Оша – в состоянии экологической модуляции. Современное состояние и направление изменений экосистем притоков среднего Иртыша в целом негативны, что требует пристального внимания соответствующих государственных органов при разработке схем водопользования в их бассейнах (Барсукова, Баженова, 2012).

В 2008–2010 гг. были впервые проведены систематические исследования фитопланктона водоемов г. Омска. Установлены закономерности сезонной и межгодо-

вой динамики обилия фитопланктона, определен трофический статус и дана оценка качества воды городских водоемов. В оз. Соленом обнаружена уникальная цианобактерия *Arthrospira fusiformis* (Woronich.) Komarek et Lund, являющаяся источником белка и ряда биологически активных веществ. Запасы фитомассы артроспиры в озере имеют промышленное значение. К настоящему времени оз. Соленое – единственный известный в России источник этого ценного возобновляемого биоресурса (Баженова, Коновалова, 2012).

В последние годы были проведены исследования фитопланктона и оценка экологического состояния разнотипных озер региона. Во многих озерах отмечены структурные изменения фитопланктона, характерные для антропогенного эвтрофирования. На озерах с высоким уровнем хозяйственного использования и рекреации отмечается «цветение» воды, интенсивная вегетация цианобактерий, в том числе токсичных, и другие негативные явления. В озерах Калач, Петровское, Жарылдыколь, Байгунда, Батаково в настоящее время вегетация цианобактерий превышает уровень, рекомендуемый ВОЗ для рекреационных водоемов (20 млн кл./л). Без принятия ряда мер по экологической реабилитации водоемов и прилегающей к ним территории процесс эвтрофирования приведет к утрате озер, выполняющих важную роль в обеспечении населения области водой, рыбой, рекреационными и эстетическими ресурсами (Баженова и др., 2012).

Во всех обследованных водных объектах отмечено изменение видового состава фитопланктона по сравнению серединой XX в. Из альгоценозов исчезают представители олиготрофных вод, а взамен в массовом количестве появляются виды, характерные для эвтрофных и загрязненных органическими веществами вод. К настоящему времени в составе фитопланктона исследованных рек и озер найдено более 300 новых для Омского Прииртышья таксонов водорослей и цианобактерий. Очевидно, что это связано не только с исследованием новых водных объектов, но, в большей степени, с изменением абиотических условий водной среды – глобальным потеплением и, особенно, с эвтрофированием и загрязнением. С эвтрофированием тесно связано возрастание видового богатства зеленых хлорококковых водорослей и цианобактерий, характеризующихся мелкими размерами клеток. Загрязнение водных объектов легко окисляемыми органическими веществами вызвало резкое увеличение видового богатства эвгленовых водорослей и вхождение в состав альгофлоры динофитовых и криптофитовых водорослей.

С использованием электронной микроскопии проведена ревизия видового состава центрических диатомовых водорослей Омского Прииртышья. Систематический список уточнен и расширен до 30 видов, в их составе найдено 14 новых для региона видов (Генкал и др., 2012).

Проведенные к настоящему времени работы по изучению альгофлоры позволили значительно расширить таксономический список водорослей и цианобактерий Омского Прииртышья, установить трофический статус и оценить качество воды обследованных водных объектов по показателям развития фитопланктона, дать рекомендации хозяйствующим субъектам по рациональному водопользованию.

Андреев Г.П., Горячева Г.И., Скабичевский А.П. и др. Водоросли реки Иртыш и его бассейна // Тр. Томского гос. ун-та. 1963. Т. 152. С. 69–103.

Баженова О.П. Оценка многолетних изменений экосистем верхнего и среднего Иртыша по показателям развития фитопланктона // Сиб. эколог. журн. 2006. № 6. С. 785–790.

Баженова О.П., Герман Л.В., Кренц О.О. и др., Экологическое состояние и рекреационная ценность разнотипных озер Омской области // Омский науч. вестник. 2012. № 1(108). С. 213–216.

Баженова О.П., Коновалова О.А. Фитопланктон озера Соленого (г. Омск) как перспективный источник биоресурсов // Сиб. эколог. журн. 2012. № 3. С. 375–382.

Барсукова Н., Баженова О. Фитопланктон и экологическое состояние притоков среднего Иртыша. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2012. 151 с.

Генкал С.И., Баженова О.П., Митрофанова Е.Ю. Центрические диатомовые водоросли (Centrophyceae) водоемов и водотоков бассейна среднего участка реки Иртыш // Биология внутр. вод. 2012. № 1. С. 5–14.

Е.Н. Бакаева^{1,2}, Г.Г. Черникова¹, Н.А. Игнатова^{1,2}
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОЦЕНОЗОВ И ИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

¹ Институт водных проблем РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия, rotaria@mail.ru
² Гидрохимический институт Росгидромета, г. Ростов-на-Дону, Россия, rotaria@mail.ru
E.N. Bakaeva, G.G. Chernikova, N.A. Ignatova

THE USE OF PHYTOCENOSES AND THEIR REPRESENTATIVES IN EVALUATION
OF THE SURFACE WATER QUALITY

¹ Water Problems Institute RAS, Rostov-on-Don, Russia, rotaria@mail.ru
² Hydrochemical Institute Hydromet, Rostov-on-Don, Russia, rotaria@mail.ru

Состояние водных объектов требует особого внимания ввиду исключительной роли воды как в народном хозяйстве, так и в круговороте вещества в природе. Экологическое состояние вод и донных отложений водных объектов в последнее время все больше интересует с точки зрения токсикологии, так как известна общая тенденция последнего времени – активное распределение токсикантов в водной среде и аккумуляция их в донных отложениях. Аналитический контроль прогрессирующего возрастания количества новых химических веществ невозможен, к тому же он осложнен аддитивностью и синергетическим действием большинства соединений. Только по биоте может получить оценку суммарного токсического действия загрязняющих веществ, которое является одной из главных причин негативных последствий антропогенного загрязнения природных вод (Бакаева, 2009а). Первоначально в основу исследований качества вод был положен метод биоиндикации, основанный на изучении состава и структуры гидробиоценозов. Альгоиндикация является составной частью этого методического подхода.

Оценка эколого-токсикологического состояния водных объектов невозможна без данных оценки интегральной токсичности с помощью биотестирования, которое вместе с химическим анализом и биоиндикацией составляет триаду методологии экотоксикологической оценки состояния водных экосистем. Поэтому в настоящее время все более широкое применение находит метод биотестирования. Этот методический подход стал использоваться ввиду того, что токсическое влияние загрязняющих веществ на гидробиоту гораздо показательнее сравнения измеренных концентраций химических элементов и соединений с их предельно допустимыми концентрациями. Таким образом, метод биотестирования наиболее показателен с экологической точки зрения. Биотестирование целесообразно и в экономическом плане, поэтому часто превосходит ресурсоемкие гидрохимические исследования.

Токсичность – характеристика биологическая, она может быть определена только с участием живых организмов. Методология биотестирования – способ интегральной оценки токсичности комплекса веществ, присутствующих в водной среде и проявляющих или не проявляющих свои эффекты в зависимости от формы их нахождения, соотношений, взаимовлияний и ряда условий среды. Метод биотестирования основан на использовании представительных тест-объектов различных систематических групп и трофических уровней живых организмов. В альготестах в качестве тест-объектов при оценке токсичности поверхностных вод общепринятыми являются зеленые микроводоросли из родов *Chlorella*, *Scenedesmus*. Менее активно используют синезеленые из родов *Synechocystis*, *Microcystis*, диатомовые – *Thalassiosira pseudonana*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Skeletonema costatum*, род *Chaetoceros* (Бакаева и др., 2009б).

Прием биотестирования для оценки токсичности природных сред не нов, его используют в качестве основного методологического подхода при разработке регла-

ментов на химические вещества (ПДК), однако методики оценки природных сред имеют ряд особенностей. Метод биотестирования вод и донных отложений нельзя отнести к количественным. Результат выражается словесно: «оказывает/не оказывает» проба воды токсическое действие. Можно выделить уровень токсичности, который выражается также словесно: «острое», «подострое», «хроническое» токсическое действие. Важно то, что биотестирование позволяет получать интегральную оценку токсичности, вызываемую суммарным действием всего комплекса загрязняющих веществ, содержащихся в водной среде, с учетом их синергетического и антагонистического взаимодействия.

Методы биотестирования имеют ряд преимуществ (Бакаева и др., 2009 а,б). Это временной показатель (определение токсичности возможно за 2–24 часа в зависимости от используемого тест-показателя). Биотестирование позволяет охватить все основные компоненты водной экосистемы, поскольку основано на использовании как минимум трех методик; применение набора тест-объектов обусловлено спецификой жизнедеятельности живых организмов, проявляющих различную чувствительность к одному и тому же виду загрязнения. Биотестирование менее материалоёмко и менее затратно в сравнении с химическими анализами; его возможно проводить в полевых условиях.

Биотестирование до настоящего момента широко не используется в мониторинге сети Росгидромета в связи с тем, что не хватает специалистов-гидробиологов (штатные гидробиологи перегружены обработкой проб гидробиологических проб); нет необходимых помещений (биотестирование нельзя проводить в химических лабораториях). С учетом всех особенностей метод биотестирования должен использоваться в системе мониторинга отдельным блоком. Альтотесты должны быть обязательной составляющей, поскольку основаны на использовании автотрофных организмов, являющихся поставщиками первичной продукции водных объектов. Цель биотестирования в мониторинге поверхностных вод суши – осуществлять скрининг проб воды и донных отложений водного объекта и в режимных, и оперативных наблюдениях, особенно в случае чрезвычайных ситуаций (ЧС). В последнем случае есть возможность выбрать пробы для дальнейшего дорогостоящего химического анализа.

Все это делает необходимым и актуальным проведение исследований по оценке экотоксикологического состояния водных объектов комплексом методов: альгоиндикацией и биотестированием с использованием альгологических тест-объектов. Нами проведены исследования реальных водных экосистем р. Дон, Цимлянского водохранилища, о. Голубое и модельных экосистем при моделировании загрязнения в природных условиях. Изучение проводили комплексом методов, включающим изучение альгоценозов и оценку токсичности вод и донных отложений методом биотестирования с использованием альтотестов. Так, сочетанное возрастание трофности, сапробности и, что крайне важно, – токсичности вод, свидетельствует о значительной токсификации экосистемы Цимлянского водохранилища (Бакаева и др. 2012). Сравнение с данными прошлых лет показало сохранение и усиление негативных процессов в отдельных створах экосистемы водохранилища.

Анализ материалов исследований различных водных объектов показал, что экотоксикологические показатели состояния альгоценозов и ответ альгологических тест-объектов являются индикаторами общего состояния экосистемы, ее «экологического благополучия», устойчивости к антропогенным воздействиям, что особенно важно в условиях роста техногенных нагрузок на водные объекты и роста загрязненности особо опасными и токсичными химическими соединениями.

Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А., Черникова Г.Г. Особенности формирования фитоценозов временных водоемов при моделировании загрязнения (Тез.) // Тез. докл. X съезда ГБО при РАН. Владивосток: Дальнаука, 2009 а. С. 28–29.

Бакаева Е.Н., Игнатова Н.А., Черникова Г.Г. Альгоиндикация и альготесты в эколого-токсикологической оценке качества водных экосистем // Материалы 2-й Всеросс. конф. [Электронный ресурс] – Сыктывкар: Институт биологии КомиНЦ УрО РАН, 2009 б. С. 256–258.

Бакаева Е.Н., Никаноров А.М., Игнатова Н.А., Черникова Г.Г. Эколого-токсикологическая ситуация Цимлянского водохранилища в современный период // Всерос. науч. конф. «Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике». Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. С. 151–157.

Г.М. Воскобойников, М.В. Макаров, Д.В. Пуговкин, И.В. Рыжик

САНИТАРНАЯ АКВАКУЛЬТУРА: ОТ ГИПОТЕЗЫ ДО ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ПРОЕКТА

Мурманский морской биологический институт Кольского НЦ РАН, г. Мурманск, Россия, grvosk@mail.ru

G.M. Voskoboinikov, M.V. Makarov, D.V. Pugovkin, I.V. Ryzhik

THE SANITARY AQUACULTURE: FROM HYPOTHESIS TO THE PROJECT DEMONSTRATION

Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Murmansk, Russia, grvosk@mail.ru

В настоящее время существует три направления борьбы с загрязнением водной акватории нефтепродуктами (НП): боновые заграждения, сорбенты и диспергенты, направленные на ликвидацию аварийных разливов. Технологии для «финишной» очистки, а также профилактической постоянной очистки загрязнений, появляющихся в результате судоходства, деятельности береговых предприятий, отсутствуют. Загрязнение может создавать концентрации НП во много раз превышающие предельно допустимые концентрации (0.05 мг/л) в воде. Такая ситуация наблюдается в портах г. Мурманска, Североморска (Баренцево море) и на других морях.

Нами была показана высокая устойчивость некоторых фукусовых водорослей, особенно *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta), к воздействию НП. Водоросли могли длительное время выживать на камнях в зоне литорали, даже в черном слое мазута. В загрязненных нефтепродуктами местах (ЗМ) у *F. vesiculosus* наблюдалось уменьшение размеров, массы и продолжительности жизни, а также значительное снижение скорости роста по сравнению с особями этого же вида из чистых мест обитания (ЧМ). Вместе с тем, практически все особи, отобранные в ЗМ, проявляли способность к росту, фотосинтезу, синтезу пигментов, углеводов, липидов. Высокая степень устойчивости фукусовых водорослей к нефтяному загрязнению нашла подтверждение и в лабораторных экспериментах. Микробиологический анализ выявил наличие на поверхности фукоидов из ЗМ значительно большее количество сапротрофных бактерий, в том числе, углеводородокисляющих, чем у водорослей из ЧМ обитания. Химический анализ показал наличие нефтепродуктов не только на поверхности макрофитов, но и в их ткани. Экспериментально была показана возможность поглощения макрофитами нефтяных углеводородов. Серия опытов продемонстрировала реальность очистки морской воды от нефтепродуктов. Фукусовые водоросли проявляют высокую степень устойчивости не только к нефтепродуктам, но и к другим факторам внешней среды: ультрафиолету, осушению, опреснению – снижению солености, высоким и низким температурам. Полученные данные послужили основой для использования симбиотической ассоциации фукусов и углеводородокисляющих бактерий в качестве биологической компоненты при создании санитарной водорослевой плантации (СВП) для нейтрализации нефтяного загрязнения. Схема плантации аналогична для ламинариевой плантации, апробированной ранее на Баренцевом море, но верхний горизонтальный канат был засажен фукусовыми водорослями, взятыми из природы. В нижнем горизонте плантации (от 0.5 до 20 м) находятся ламинариевые водоросли.

В заливах Баренцева моря прошли апробацию технологии создания выростных участков биокomпоненты и длительного хранения элементов плантации, обеспечивающие транспортировку СВП к месту постановки вблизи источников загрязнения. Разработана технология экспресс-постановки плантации. СВП способна обеспечить в течение 2–3 недель снижение уровня загрязнения нефтепродуктами морской воды

в 10–30 раз. СВП рассчитана на многолетний срок службы, что обеспечивается благодаря происходящим в модулях процессам развития и восстановления ассоциации водорослей и углеводородокисляющих микроорганизмов. Перспективно применение технологии СВП и для защиты от НП хозяйств марикультуры, расположенных на прибрежных акваториях. Возможно использование технологии СВП в южных и дальневосточных морях с учетом региональных особенностей.

Н.А. Гаевский, Е.В. Солоненко
ВСПЕНЕННЫЙ ПОЛИЭТИЛЕН – СУБСТРАТ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ КЛЕТОК ВОДОРосЛЕЙ
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия, nikgna@gmail.com
N.A. Gaevsky, E.V. Solonenko
EXPENDED POLYETHYLENE – THE MATRIX FOR IMMOBILIZATION OF ALGAE CELLS
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, nikgna@gmail.com

Культура клеток микроводорослей, иммобилизованных на искусственном матриксе, по ряду показателей принципиально отличается от суспензионной культуры. Различные инновационные подходы к иммобилизации и микроинкапсуляции показали преимущество иммобилизованных клеток перед свободными при их использовании в мониторинге загрязнения естественной водной среды, очистке и удалении тяжелых металлов из сточных вод и биореакторов, в разработке токсикологических тестов (Mallik, 2006; Abdel Hameed, Ebrahim, 2007).

Вспененный полиэтилен (пенополиэтилен, ВПЭ) широко используется в качестве экологически безопасного термо- и шумоизолирующего материала, а также для изготовления упаковки. Изделия из ВПЭ водостойки, устойчивы к деформации, химическому и биологическому воздействию, не чувствительны к перепадам температур. По этим физико-химическим свойствам ВПЭ удовлетворяет требованиям для матриц при иммобилизации водорослей. Целью данной работы была проверка соответствия матриц из ВПЭ основным биотехнологическим требованиям к системе иммобилизации водорослей: сохранение жизнеспособности, высокая плотность клеток, слабое отлипание от матрицы, способность к фотосинтезу, а также оценка возможности использования ВПЭ в токсикологических тестах.

Использовали упаковочный ВПЭ белого цвета. Кубики (1×1×1 см) вырезали из моноблока ВПЭ острым ножом. Поверхность кубика представляла собой срез с ячеистой структурой (размер ячейки 0.6–0.9 мм). Эффективная площадь кубика ВПЭ оценена как 9.4 см². Удельная плотность воздушно сухих образцов ВПЭ – 0.026 ± 0.001 г/см³, после насыщения водой – 0.165 ± 0.012 г/см³ (содержание воды – 83.8 ± 1.1%). Неокрашенный ВПЭ толщиной 1 см пропускал 56% белого света. Деформация образцов ВПЭ была заметной при температуре 90°C. Устойчивость к температурам 75–80°C позволяет пастеризовать изделия из ВПЭ.

Иммобилизацию клеток водорослей осуществляли в микроэкосистемах (МЭС) в течение 30 сут. Условия в МЭС-1: объем 300 литров, глубина 40 см, дно песчаное, непрерывное поверхностное освещение белыми люминесцентными лампами (1500 Лк), аэрация и фильтрация воды, высшая водная растительность, животные (прудовик малый, катушка, неоны, гурами). Условия в МЭС-2: размерами идентична МЭС-1, естественный фотопериод, боковое освещение (550 Лк), постоянная аэрация, дно галечное, нет высшей водной растительности, животные (рак речной, гуппи). Кубики в количестве 15-17 шт. были нанизаны на леску с промежутками 1 см. На верхнем конце лески находился поплавок, на нижнем – груз.

После пребывания в МЭС кубики ВПЭ были в равной степени интенсивно окрашены в коричневый, коричнево-зеленый цвет. Глубина проникновения водорослей в образцы ВПЭ составляла 1–1.5 мм. Для изучения видового состава иммобилизованных клеток и содержания хлорофилла «а» (Хл) клетки водорослей отделяли от кубиков в отстоянную фильтрованную водопроводную воду, многократно сжимая и

отпуская кубик, пока он не терял окраску. В составе перифитона на ВПЭ обнаружены нитчатые формы зеленых, диатомовых и синезеленых водорослей, в МЭС-1 – *Mougeotia* sp., *Achnanthes* sp*, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Oscillatoria limnetica** Lemmermann, *Oscillatoria amoena** (Kützing) Gomont, *Lyngbya* sp., колонии *Microcystis pulverea* (Wood.) Forti; в МЭС-2 – *Cladophora* sp., *Eunotia veneris* (Kützing) De Toni, *Fragilaria capucina* Desmazières, *Fragilaria construens* var. *Binodis* (Ehrenberg) Grunow, *Oscillatoria limnetica** Lemmermann, *Lyngbya* sp. (звездочкой помечены доминанты).

Содержание Хл в МЭС-1 и МЭС-2 соответственно равнялось 40.1 ± 0.4 и 33.0 ± 2.3 мг/м² эффективной поверхности. Полученные значения соответствуют содержанию Хл в фитоперифитоне малых рек Кольского полуострова, сформированного видами с нитчатой структурой таллома (Кумулайнен и др., 2009). Сырую биомассу фитоперифитона для этих значений Хл можно оценить как 20 и 17.5 г×м⁻². В сравнении с сухой массой кубика ВПЭ сырая биомасса иммобилизованных клеток составляла от 60 до 70%.

Фотосинтетическую активность водорослей определяли в иммобилизованном состоянии с помощью прибора Imaging PAM-max (Walz, Германия) по максимальной скорости нециклического транспорта электронов (ETR_m) при регистрации световой кривой. Величины ETR_m в МЭС-1 и МЭС-2 соответствовали 10.5 ± 1.3 и 7.7 ± 0.4 мкмоль электронов×м⁻²×сек⁻¹, при световой облученности 190 и 280 мкмоль фотонов×м⁻²×сек⁻¹ (в единицах валовой первичной продукции 0.30 ± 0.04 и 0.22 ± 0.01 г О₂×м⁻²×сек⁻¹). Соотношение ETR_m в МЭС-1 и МЭС-2 соответствует соотношению Хл. Культивирование зеленой водоросли *Chlorella* sp. (термофильный штамм) вместе в кубиками из ВПЭ сопровождалось размножением клеток в поверхностном слое ВПЭ. Однако, в отличие от водорослей в МЭС, клетки хлореллы отделялись от кубиков при слабом взбалтывании, что не соответствует критерию иммобилизации.

Действие Cu⁺² в форме CuSO₄ исследовали на иммобилизованных клетках водорослей из МЭС-1. Экспозиция в различных концентрациях Cu⁺² длилась 48 ч при постоянном освещении 1.5 клк и вращении в культиваторе Фитотест-03 (СФУ). Наибольшую чувствительность к Cu⁺² показал параметр ETR_m по сравнению с максимальным уровнем флуоресценции и квантовым выходом ФС2. Каждый из указанных параметров снижался при действии возрастающих концентраций Cu⁺². LC₅₀ для ETR_m составляла 10⁻⁵ М CuSO₄ (1.6 мг/л Cu⁺²). Эта величина на три порядка выше, чем концентрация CuSO₄ в среде COMBO, используемой для культуры *Ankistrodesmus falcatus* и *Stephanodiscus hantzschii* (Kilham et al., 1998).

Проведенное исследование показало, что ВПЭ по физико-химическим характеристикам удовлетворяет требованиям, предъявляемым для материалов, используемых для иммобилизации клеток водорослей. Клетки синезеленых, зеленых и диатомовых водорослей (в основном нитчатые формы) способны образовывать устойчивые ассоциации на поверхности вспененного полиэтилена. Плотность заселения водорослями кубиков из ВПЭ сопоставима с плотностью заселения натурального каменистого субстрата. Иммобилизованные на ВПЭ водоросли обладают высокой фотосинтетической активностью, которую можно использовать как тест-функцию при оценке действия тяжелых металлов.

Кумулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. Сообщества гидробионтов малых рек северо-западной части Кольского полуострова // Сохранение биологического разнообразия наземных и морских экосистем в условиях высоких широт: Матер. межд. науч.-практ. конф. Мурманск: МГПУ, 2009. С. 114–117.

Abdel Hameed M, Ebrahim O. Biotechnological potential uses of immobilized algae // Intern. J. of agriculture and biology. 2007. V. 9, No. 1. P. 183–192.

Kilham S.S., Kreeger D.A., Lynn S.G., et al. COMBO: a defined freshwater culture medium for algae and zooplankton // Hydrobiologia, 1998. V. 377. P. 147–159.

Nirupama Mallick. Immobilization of Microalgae // Methods in biotechnology: Immobilization of enzymes and cells. Totowa, NJ: Press Inc., 2006. V. 22. P. 373–391.

М.Ю. Горбунов, Н.Г.Тарасова, М.В. Уманская, Е.С. Краснова, Е.С. Кривина
СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ ВАСИЛЬЕВСКОЕ В ПЕРВЫЙ ГОД ИНТРОДУКЦИИ ХЛОРЕЛЛЫ
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Россия. myugor@pochta.ru
M.Yu. Gorbunov, N.G.Tarasova, M.V. Umanskaya, E.S. Krasnova, E.S.Krivina
ECOLOGICAL STATE OF BIG VASILIEVSKOE LAKE IN THE FIRST YEAR OF CHLORELLA
INTRODUCTION

Institute of ecology of Volga basin RAS, Togliatti, Russia. myugor@pochta.ru

Антропогенное загрязнение и эвтрофикация городских водоемов является повсеместной проблемой в крупных и в малых городах. Каскад Васильевских озер на северо-восточной границе г. Тольятти является типичным примером антропогенного эвтрофирования городских и пригородных озер. Эти озера возникли в их современном виде в 1950–1960-е гг. На их экологическое состояние с самого начала влияли крупные поселения – с. Васильевка и дачные массивы непосредственно по берегам, технологические водоемы – отстойники и очистные сооружения, и прилегающие автодороги. Оз. Б. Васильевское – самое крупное по площади в системе (около 75 га), максимальная глубина в южной части не превышает 3.5–4 м, средняя составляет около 1 м.

В мае 2013 г. на оз. Б.Васильевское неожиданно начались работы по интродукции в озеро штамма зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* IPPAS C-111 ("альголикации", "коррекции альгоценоза"). По заявлениям автора метода (Богданов, 2008) и исполнителей (Воронежское НПО "Альгобиотехнология") альголикация является эффективным методом предотвращения «цветения» воды синезелеными водорослями (цианобактериями) и улучшения качества воды в целом.

С июня по октябрь 2013 г. мы провели мониторинг состояния оз. Б. Васильевское. Параллельно были исследованы два других озера – Восьмерка и "Прудовиков" (Грязное). Мы предполагали, что сравнение изменений состояния этих трех озер за прошедшее с 1992 г. время позволит оценить влияние (если оно есть) интродукции хлореллы в одно из озер, и хотя бы отчасти компенсировать отсутствие исходных данных о состоянии его экосистемы. В качестве отправной точки были использованы опубликованные и архивные материалы ИЭВБ о состоянии Васильевских озер в 1991–1992 гг., включающие гидрохимические данные, концентрации хлорофилла и характеристики фитопланктона.

За прошедшие 22 года озера испытали существенные изменения, которые коснулись даже основного состава воды. Если в 1991 г. во всех трех озерах преобладали воды кальций-гидрокарбонатного класса, то в 2013 г. в озерах Б. Васильевское и Прудовиков вода относилась к натрий-гидрокарбонатному (содовому) классу, а в оз. Восьмерка – к натрий-сульфатному. Одновременно во всех озерах существенно, на 44–107%, возросла общая минерализация воды. Изменения величины и типа минерализации, видимо, связаны с влиянием техногенных водоемов (шлаконакопителя и отстойника), влиянием использования соли на автодорогах в зимний период, а в оз. Б. Васильевское, кроме того, с аварийными сбросами из близлежащих очистных сооружений. В этом озере рН воды с июня по октябрь 2013 г. находился в пределах 9.1–10.7, а в нескольких пробах была отмечена даже свободная гидроксильная щелочность. Концентрация свободного аммиака, токсичного для большинства гидробионтов, в нескольких пробах достигала 1 мг/л или 25 ПДК, а в среднем составила 0.6 мг/л (или 15 ПДК). В двух других озерах величины рН не превышали 9.5.

Уже в 1991–1992 г. по трофической классификации на основании индекса трофического статуса Карсона (ITS) по среднегодовой концентрации хлорофилла «а» озеро Прудовиков было высокоэвтрофным, а Восьмерка и Б. Васильевское – гиперэвтрофными. При этом оз. Б.Васильевское было наиболее эвтрофированным среди Васильевских озер. В 2013 г. средний по трем основным показателям (хлорофилл, прозрачность и концентрация фосфора) ITS всех трех озер увеличился еще на 3.0–5.5 единиц, и в оз. Б. Васильевское превысил 80. Средняя концентрация хлорофил-

ла в озере увеличилась более чем вдвое, с 86 до 199 мкг/л, а прозрачность воды снизилась в среднем с 65 до 28 см, причем в период наибольшего "цветения" она падала до 10 см и менее. В двух других озерах ITS также превышал границу эвтрофных и гипертрофных условий, но концентрация хлорофилла в них увеличилась в меньшей степени, чем в оз. Б. Васильевское.

В составе фитопланктона оз. Б. Васильевское в безледный период 2013 г. преобладали цианобактерии, численность которых составляла 78–97%, а биомасса 53–87% общей. Вторую позицию занимали хлорофитовые, вклад которых в численность и биомассу составлял 2.5–18% и 5–36%, соответственно. Доля диатомовых в общей биомассе не превышала 10.5% (в среднем – 6%). Средняя биомасса фитопланктона составила 22 мг/л, в т.ч. цианобактерий – около 15 мг/л, причем 50–94% всей биомассы цианобактерий давали два вида рода *Microcystis*: *M. aeruginosa* и *M. wesenbergii*. В составе зеленых водорослей около половины биомассы формировали виды р. *Desmodesmus* (=sect. *Desmodesmus* р. *Scenedesmus*): *D. quadricauda*, *D. protuberans* и др., характерные именно для мелководных высокоэвтрофных водоемов (согласно Reynolds et al., 2002 – для "мелководных, сильно обогащенных [биогенами] систем"). В то же время, *Chlorella vulgaris* была встречена менее чем в половине проб, и ее численность не превышала 0.12% общей.

Таким образом, хотя во всех трех исследованных водоемах за прошедшие 20 с лишним лет произошло ухудшение экологического состояния, в оз. Б. Васильевское по ряду ключевых показателей (концентрация хлорофилла "а", прозрачность, рН) оно оказалось наибольшим. Экологическое состояние озера остается наихудшим из исследованных, и, вероятно, из всех Васильевских озер. Поэтому, очевидно, нет никаких оснований утверждать, что альголизация оз. Б. Васильевское на сегодняшний день дала какие-то существенные результаты.

Следует отметить, что метод "альголизации" водоемов с самого момента его опубликования подвергся критике специалистов-гидробиологов и альгологов. Возражения касались как слабого экспериментального и теоретического обоснования, так и явной недостаточности доказательств его практической эффективности. В частности, в большинстве случаев, как и в случае с оз. Б. Васильевское, отсутствовали детальные данные о гидробиологическом состоянии водоемов до начала их реабилитации. Это позволяло защитникам метода оперировать субъективными оценками – "естественным цветом воды", "отсутствием запаха" и т.д., или показателями, не имеющими отношения к "цветению" воды (например, содержанием металлов или нефтепродуктов). Мы полагаем, что выбор конкретного метода реабилитации эвтрофированных "цветущих" озер должен основываться на всестороннем профессиональном анализе состояния водоема, а ход реабилитации – сопровождаться контролем происходящих изменений и, при необходимости, коррекцией плана дальнейших действий. Применение недостаточно апробированных методов, таких как метод альголизации, допустимо только в качестве эксперимента, проводящегося под строжайшим научным контролем. Результат нарушения этих требований при реабилитации оз. Б. Васильевское прекрасно демонстрирует бесперспективность поспешных и необдуманных попыток дешево и быстро решить проблему "цветения" водоемов. К счастью, в данном случае эти действия, видимо, не привели к существенному ухудшению состояния водоема.

В.Г. Девяткин, Н.Ю. Метелева, И.В. Митропольская, П.А. Вайновский
МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА
РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, robinson@mail.ru

V.G. Devyatkin, N.Yu. Meteleva, I.V. Mitropolskaya, P.A. Vainovskii

LONG-TERM CHANGES OF PHYTOPLANKTON PRODUCTIVITY IN THE RYBINSK RESERVOIR

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, robinson@mail.ru

Продуктивность фитопланктона в озерах и водохранилищах зависит от внутри-водоемных процессов – состава и обилия планктонных водорослей, их обеспеченности минеральным питанием, взаимодействием водорослей с другими организмами планктона. Значительную роль в реализации продукционного потенциала фитопланктона играют внешние по отношению к водоему факторы – интенсивность солнечной радиации, которая вместе с температурой воздуха и ветровым режимом определяют термику водоема, количество атмосферных осадков, и другие факторы, которые в целом можно охарактеризовать как совокупность погодных условий или климат. Таким образом, кратковременные климатические вариации могут оказывать воздействие на состав и продуктивность фитопланктона – основного поставщика энергии в водоемах с замедленным стоком.

Возможное развитие климатической ситуации по сценарию «глобального потепления» определяет актуальность исследований воздействия кратковременных климатических вариаций на биоту, включая водные экосистемы. Нами на протяжении нескольких десятилетий проводились наблюдения над составом и продуктивностью фитопланктона Рыбинского водохранилища. При этом фитопланктон – основной накопитель и преобразователь солнечной энергии – рассматривался нами в единстве биоты с климатической составляющей экосистемы водоема.

Полученные результаты свидетельствуют, что среди множества климатических факторов для фитопланктона наиболее важны свет и температура, так как именно они определяют энергетику водорослей и скорость новообразования органического вещества. Проведенные наблюдения показывают, что относительно кратковременные климатические вариации инсоляции и температуры воды могут быть причиной соответствующих (в сезонном и межгодовом масштабах времени) колебаний биомассы и продуктивности планктонных водорослей. При этом максимальные значения биомассы и продуктивности водорослей, как правило, приходились на годы с относительно высоким прогревом водоема. Таким образом, если климатические изменения будут развиваться по известному сценарию глобального повышения температуры, можно ожидать заметного увеличения продуктивности фитопланктона, сопоставимого с эвтрофированием.

С другой стороны, кратковременные межгодовые климатические колебания, оказывая существенное воздействие на фотосинтетическую активность фитопланктона, влияют и на степень насыщения воды кислородом, так как в годы повышенной инсоляции и температуры заметно возрастает интенсивность фотосинтетической аэрации. Показано, что многолетняя динамика продуктивности фитопланктона и некоторых зависящих от нее показателей качества воды может быть достаточно точно отображена уравнениями множественной линейной регрессии, в число независимых переменных которых входят основные климатические составляющие: температура воздуха, инсоляция, количество атмосферных осадков и зависящие от последних уровенные характеристики водохранилища.

В случае развития климатических изменений по сценарию глобального потепления можно ожидать существенного повышения биомассы и продуктивности планктонных водорослей, фотосинтетической аэрации и процессов гетеротрофного преобразования энергии солнечной радиации.

Н.А. Зеленеvская
БИОИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
ПО ФИТОПЛАНКТОНУ В 2013 ГОДУ

Волжский университет им. В.Н.Татищева, г. Тольятти, Россия, asterionella@mail.ru

N.A. Zelenevskaya

BIOINDICATION OF ECOLOGICAL STATE OF SARATOV RESERVOIR IN 2013

Tatischev Volga University, Toljatty, Russia, asterionella@mail.ru

Саратовское водохранилище относится к проточному типу и входит в состав Волжского каскада. В прибрежной зоне водохранилища расположены промышленные центры Тольятти, Самара, Сызрань, сточные воды которых в больших объемах сбрасываются в водоем, поэтому биоиндикация состояния водохранилища в системе мониторинга занимает важное место. Параметры развития фитопланктона являются показателями, адекватно отражающими состояние водохранилища в целом.

Пробы фитопланктона отбирали весной, летом и осенью 2013 г. преимущественно на русловой части водохранилища. Материал обработан и проанализирован автором на базе лаборатории гидробиологии Тольяттинской специализированной гидрометобсерватории. Данные по гидрологии водохранилища предоставлены отделом гидрологии ТСГМО. Период исследования характеризовался повышенной водностью. При этом средний уровень воды был ниже средних многолетних показателей весной (на 0.1 м) и летом (на 0.2–0.3 м), и соответствовал норме осенью. Температура воды была выше нормы: весной на 0.7° С, летом на 1.4–2.5° С, осенью на 2.0° С. Гидрологический режим в значительной мере определял развитие фитопланктона.

Как и в другие годы, в составе фитопланктона Саратовского водохранилища в 2013 г. по числу таксонов преобладали диатомовые водоросли, составляя 58% общего списка (148). В меньшей степени представлены отделы Chlorophyta (23%) и Суаноргосариота (11%). Доля других отделов не превышала 3%. По числу видов и по биомассе на каждой отдельной станции (весной и осенью – всегда, летом – в большинстве случаев) также преобладали диатомовые водоросли. По относительной численности весной лидировали диатомовые, в другие сезоны – цианопрокариоты. Среднегодовые значения численности и биомассы составляли 5.3 млн кл./л и 1.34 мг/л соответственно и достигали максимума в летний период при массовом развитии цианопрокариот. Среди видов, доминирующих по численности, весной отмечены *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom. *Stephanodiscus hantzschii* Grun. *Stephanodiscus* sp., *Skeletonema subsalsum* (A. Cl.) Bethge, летом: *Microcystis flos-aquae* Wittr.Kirchn., *Aphanizomenon flos-aquae* (Lyngb.) Breb., *Platymonas arnoldii* (Prosch.-Lavr.) Matv., осенью: *Microcystis flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Oscillatoria tenuis* Ag., *Phormidium uncinatum* (Ag.) Gom.

К видам-индикаторам сапробности относится 71 таксон, из которых 14.1% - обитатели относительно чистых вод (χ -олиго-, олиго- β -мезо-, β -мезо-олигосапробы), 53.5% - индикаторы умеренно загрязненных вод (β -мезосапробы), 32.4% – высоко-сапробные виды, устойчивые к загрязнению легкоразлагаемой органикой (β - α -мезо-, α - β -мезо-, поли- α -мезосапробы). Высокое содержание устойчивых к загрязнению видов водорослей определило повышение значений индекса сапробности, рассчитанных для каждой станции отбора проб, которые весной составляли 2.08–2.81, летом – 2.03–2.44, осенью – 1.97–2.79. При этом значение индекса сапробности не всегда повышалось в районах сброса сточных вод. В одних случаях это могло быть связано с высокой скоростью распространения загрязняющих веществ, обусловленной спецификой скоростного режима водохранилища, в других – с высоким содержанием токсических веществ в районах сбросов сточных вод, подавляющих развитие микрофлоры и, соответственно, процессы разложения органики.

Для оценки состояния вод был использован также индекс относительной чистоты Кнеппа, основанный на сапробности организмов. При достаточно большом раз-

бросе (0.01–0.99), 70% его значений не превышали 0.48. Невысокие значения этого индекса свидетельствовали о наличии легкоразлагаемой органики в водах водохранилища на большей части его акватории в течение всего вегетационного периода.

Индекс качества, отражающий уровень комплексного загрязнения воды, при изменении в течение периода исследования от 2.93 до 6.65, повышался весной на верхнем речном участке водохранилища, летом и осенью – преимущественно на озерном участке. Наличие загрязняющих веществ в том или ином районе исследования часто подтверждалось снижением индекса Шеннона. Индекс Шеннона принимал максимальные значения весной (2.66–3.65), летом размах значений индекса был более широк (от 0.26 до 2.94), осенью варьировал от 1.47 до 2.85. Низкие значения индекса Шеннона были обусловлены в большей степени нарушением выравненности видов в сообществе, реже – уменьшением числа таксонов. Несмотря на сходный состав доминирующих видов на отдельных станциях в каждом сезоне, индекс видового сходства Серенсена при сравнении сообществ фитопланктона был довольно низким: весной 0.11–0.56 и летом 0.07–0.58, несколько выше – осенью 0.17–0.62. Это указывало на значительное влияние гидрохимических и гидрологических изменений по оси водохранилища на качественный состав фитопланктона отдельных районов.

Применение указанных индексов, рассчитанных по количественным и качественным показателям фитопланктона, показало, что в теплом многоводном 2013 г. отмечался повышенный уровень загрязнения вод Саратовского водохранилища легкоразлагаемой органикой. Экологическое состояние водохранилища за период исследования можно характеризовать как «относительно удовлетворительное».

Е.К. Ланге

**ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЗДНЕЛЕТНИХ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ
ФИНСКОГО ЗАЛИВА (БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ)**

Атлантическое отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Калининград, Россия,
evlange@gmail.com

E.K. Lange

**A LONG TIME CHANGES IN LATE SUMMER PHYTOPLANKTON COMMUNITIES
IN THE GULF OF FINLAND (BALTIC SEA)**

P.P. Shirshov Institute of Oceanology Atlantic Branch RAS, Kaliningrad, Russia, evlange@gmail.com

Исследования фитопланктона восточной части Финского залива (ВЧФЗ) проводили в июле–августе 2002–2012 гг. на 14–24 станциях по программе ежегодных комплексных исследований РГГУ. При анализе результатов использовали районирование залива, предложенное в работе Pitkänen (1991), с выделением мелководного (II) и глубоководного (III) районов с двумя подрайонами: внутренним (IIIa) и внешним (IIIb).

В указанные сроки общее число таксонов фитопланктона залива варьировало от 56–93 (2003, 2007, 2009, 2012 гг.) до 110–166 (остальные годы). Наибольшим видовым разнообразием выделялись зеленые (Chlorophyta), цианобактерии (Cyanobacteria) и, в меньшей степени, диатомовые (Bacillariophyta). Фитоценозы станций формировало от 5 до 78 таксонов. В 2003, 2007 и 2009 гг. число таксонов диатомовых с обычных 20–25 сократилось до 1–6. В западном направлении с увеличением солености воды олигогалобы, относящиеся в основном к зеленым хлорококковым, из планктона выпадали, что приводило к снижению α -разнообразия фитопланктона в целом. Выявлена статистически значимая обратная связь солености поверхностного слоя воды ВЧФЗ и числа таксонов в фитоценозах ($r = -0.68$, $p < 0.000$, $n = 202$). Отмечена сходная картина изменения α -разнообразия фитопланктона во II и IIIa районах залива. В районе IIIa по сравнению со II амплитуда колебания поверхностной солености и размах колебания числа таксонов была выше. В районе IIIb на-

метилась тенденция к снижению как солености, так и показателя α -разнообразия за счет выпадения морских солоноватоводных видов.

Комплекс доминант позднелетнего фитопланктона ВЧФЗ в разные годы состоял из 9–15 видов: цианобактерии *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena lemmermannii*, *Nodularia spumigena*, *Achroonema lentum* (?*Pseudanabaena*); *Oscillatoria* spp., *Woronichinia* spp.(IIIb), *Pseudanabaena limnetica*, *P. acicularis* (IIIb); разноразмерные криптомонады (*Cryptomonas* spp., *Plagioselmis prolunga*, *Teleaulax* spp.); диатомея *Skeletonema subsalsum* (II); зеленые *Mougeotia* spp.(II, IIIa), *Pyramimonas* spp.; желтозеленая *Tribonema affine* (II); динофитовые *Dinophysis acuminata* (IIIa, IIIb), *Protoperedinium* spp. (IIIb). Из них 11 преобладали по биомассе более чем на одной станции.

В 2000-е гг. доля цианобактерий в общей биомассе фитопланктона II района оставалась стабильно высокой (60–80%), а в 2009–2011 гг. их вклад сократился до 16–32% (уровень 1980-х гг.). В более трофных водах районов II и IIIa доминировала потенциально токсичная *P. agardhii*, которая практически не встречается западнее о. Сескар, где соленость воды достигает пороговой величины ~4 ‰. Этот вид-индикатор эвтрофных условий стал постоянным доминантом в заливе с конца 1980-х гг. (Никулина, 1991, 2008; Макарова, 1997; Basova, Lange, 1998). Начало XXI в. характеризовалось благоприятными условиями для его вегетации, и биомасса достигала 3 г/м³. Исключение составили годы, характеризующиеся осолонением вод, относительно высокой температурой и/или снижением прозрачности воды. Обнаружена отрицательная корреляция между величиной биомассы этого вида и соленостью воды ($r = -0.74$, $p < 0.05$) и положительная корреляция с прозрачностью ($r = 0.60$, $p < 0.05$). Типичные для Балтийского моря в летний сезон азотфиксирующие потенциально токсичные цианобактерии родов *Aphanizomenon*, *Nodularia* и *Anabaena* в рассматриваемый период эпизодически становились доминантами в ВЧФЗ. В 2012–2013 гг. отмечено усиление роли *Aph. flos-aquae*.

В последние 10 лет в районе II диапазон колебания биомассы фитопланктона составил 0.42–3.99 г/м³, в районах IIIa и IIIb – 0.02–3.27 и 0.04–2.24 г/м³ соответственно. Выявлены межгодовые флуктуации количественного развития микроводорослей. В урожайные 2002, 2004–2006, 2008 гг., в районах II и IIIa биомасса фитопланктона в среднем составила 2.17–3.06 и 1.37–1.95 г/м³, в остальные годы этот показатель снижался в 3–5 раз до 0.71–1.11 и 0.27–0.60 г/м³ соответственно. Мористее в районе IIIb таких колебаний отмечено не было: средняя биомасса варьировала в пределах от 0.24 (2010, 2011 гг.) до 0.57 г/м³ (2006 г.). Исключение составил следующий после апвеллинга 2004 г., когда уровень вегетации микроводорослей вырос до 0.64–1.67 г/м³ (в среднем 1.0 г/м³). За 30-летний период исследований не обнаружено заметных изменений обилия позднелетнего фитопланктона ВЧФЗ, пределы колебания биомассы по нашим данным в 2002–2012 гг. были сопоставимы с таковыми 1980–1900-х гг. (Макарова, 1997; Basova, Lange, 1998; Басова и др., 1999). Однако на мониторинговой станции 21 (район II) в июле–августе обнаружено увеличение биомассы в многолетнем аспекте: в 1982–1988 гг. она составляла 1.2–2.6, в 1997–2000 гг. – 3.5–4.4, в 2002–2004 гг. – 3.8–6.6 г/м³ (Никулина, 2008). В то же время в аналогичные сроки 1998, 2000, 2001 гг. биомасса фитопланктона рассматриваемого района варьировала от 0.42 до 2.68 г/м³ (Терешенкова, 2006) и по нашим данным в 2002–2004 гг. – от 0.44 до 3.36 г/м³. Эти расхождения могли быть результатом значительной пространственно-временной неоднородности абиотических условий в пределах даже одного района ВЧФЗ. Например, в пределах района II в 2002 г. соленость поверхностного слоя колебалась от 0.5 до 1.8 ‰, а биомасса фитопланктона различалась в 2.3 раза.

Факторами, определяющими структуру и функционирование позднелетнего фитопланктона ВЧФЗ, продолжают оставаться термогалинный режим залива, троф-

ность вод и соотношение биогенных элементов. Например, в результате масштабной инвазии полихеты *Marenzelleria arctica* в Финский залив в 2008 г. произошло резкое увеличение соотношения азота/фосфор в водах залива, что повлекло за собой уменьшение количества азотфиксирующих цианобактерий и снижение биомассы фитопланктона в целом (Максимов и др., 2014).

Басова С.Л., Ланге Е.К., Ковалева В.В. Характеристика Невской губы и мелководного района восточной части Финского залива по гидробиологическим показателям // Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 1998 году. СПб.: Сезам, 1999. С. 202–210.

Макарова С.В. Видовой состав и количественные характеристики фитопланктона // Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива. Ч.2. СПб. Гидрометеиздат, 1997. С. 345–365.
Максимов А.А., Еремина Т.Э., Ланге Е.К. и др. Режимная перестройка экосистемы восточной части Финского залива вследствие инвазии полихет *Marenzelleria arctica* // Океанология. 2014. Т. 54, №1. С. 52–59.

Никулина В.Н. Состав, распределение и межгодовые изменения фитопланктона восточной части Финского залива // Исследования фитопланктона в системе мониторинга Балтийского моря и других морей СССР. М., 1991. С. 55–68.

Никулина В.Н. Водоросли планктона как показатель экологического состояния водоемов // Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна реки Невы. СПб., 1996. С. 13–35.

Никулина В.Н. Фитопланктон эстуария реки Невы // Экосистема эстуария реки Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. СПб-М.: КМК, 2008. С. 76–95.

Терешенкова Т.В. Сравнительная характеристика летнего фитопланктона Выборгского залива, Лужской и Копорской губ, пролива Бьеркезунд и мелководного района восточной части Финского залива // Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 2006. Вып. 331. Т.1. С. 37–85.

Basova, S.L., Lange, E.K. Trends in late summer phytoplankton in the Neva Bay and eastern Gulf of Finland during 1978 to 1990 // Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica. 1998. 74. P. 1–14.

Pitkänen H. Nutrient dynamics and conditions in the eastern Gulf of Finland: the regulatory role of the Neva estuary // Aqua Fennica, V. 21 (2). 1991. P. 105–115.

А.П. Левич², Д.В. Рисник², Л.Г. Корнева¹, Н.Г. Булгаков²

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОТБОРА И ОБРАБОТКИ ПРОБ НА БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФИТОПЛАНКТОНА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, apl@chronos.msu.ru

A.P. Levich², D.V. Risnik², L.G. Korneva¹, N.G. Bulgakov²

INFLUENCE OF SAMPLING AND SAMPLE PROCESSING ERRORS ON BIOINDICATION INDICES OF RYBINSK RESERVOIR PHYTOPLANKTON

¹ I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters of RAS, Borok, Russia

² M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, apl@chronos.msu.ru

Рассмотрено влияние погрешностей отбора и обработки проб на биоиндикационные показатели таксономической и размерной структуры фитопланктона Рыбинского водохранилища, показатели флуоресценции и индекс сапробности. Исследуемые показатели упорядочены по их чувствительности к влиянию погрешностей. Рекомендованы показатели, оптимальные для исследования состояния сообщества.

Различия в значениях индикаторной характеристики состояния биологических организмов или их сообществ могут быть вызваны не только влиянием окружающей среды, но и особенностями или погрешностями отбора и обработки проб. Поэтому для корректного решения задач оценки качества среды необходимо различать эти причины разбросов в значениях биоиндикационных показателей. В качестве биоиндикатора использовано сообщество фитопланктона Рыбинского водохранилища, в качестве показателей состояния биоиндикатора (биоиндикационных показателей) – характеристики фитопланктона. Характеристики включали: общие численность и биомассу клеток в пробе, численность и биомассу отделов фитопланктона, показатели таксономической структуры фитопланктона (параметры экспоненциальной и

гиперболической модели ранговых распределений, индекс выравненности, индексы разнообразия Шеннона и Симпсона), показатели размерной структуры фитопланктона (средний размер клеток и показатели, характеризующие соотношения численностей и биомасс размерных классов видов в пробе), индекс сапробности, показатели быстрой флуоресценции фитопланктона.

Проведенный анализ показал, что из исследованных биоиндикационных показателей наименее чувствительны к особенностям отбора и обработки проб относительная численность цианобактерий; индексы видового разнообразия Симпсона для числа клеток видов и отделов; индекс сапробности; первичные (измеренные) показатели флуоресценции: фоновый и максимальный уровни переменной флуоресценции пробы, флуоресценция растворенных органических веществ; параметры гиперболической модели ранговых распределений, рассчитанные по численностям отделов. Слабо чувствительны к особенностям отбора и обработки проб показатели размерной структуры: средний размер клеток и индексы, характеризующие соотношения численностей и биомасс размерных классов в пробе; показатели таксономической структуры, такие как индекс видового разнообразия Шеннона для числа клеток видов и отделов, индексы выравненности для числа клеток видов и отделов; общее число и биомасса клеток фитопланктона в пробе; расчетные показатели фонового и максимального уровня флуоресценции фитопланктона; относительная биомасса цианобактерий; число клеток в отделе Cyanophyta; параметр гиперболической модели ранговых распределений, рассчитанный по численностям клеток видов. Перечисленные показатели можно рекомендовать использовать для биоиндикации состояния фитопланктонного сообщества. Однако следует отметить, что относительная погрешность определения не должна являться основным критерием при выборе того или иного биоиндикационного показателя. Экологический смысл показателя с большей погрешностью может быть более прозрачен, а интерпретация его значений – более проста. Так, показатели флуоресценции фитопланктона более чувствительны к погрешностям в сравнении с показателями флуоресценции пробы в силу того, что их не измеряют, а рассчитывают по другим – измеряемым непосредственно – величинам. Однако для характеристики состояния фитопланктонного сообщества логичнее использовать именно показатели флуоресценции фитопланктона.

С.А. Мосияш, Е.А. Шашуловская, И.Н. Далечина, Е.А. Джаяни
АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТРОФИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ
ЭКОСИСТЕМ ЗАМЫКАЮЩИХ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛЖСКОГО КАСКАДА

Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства, Саратовское отделение, г. Саратов, Россия, gosniorh@mail.ru

S.A. Mosiyash, E.A. Shashulovskaya, I.N. Dalechina, E.A. Dzhayani
ANALYSIS OF LONG-TERM CHANGES OF ECOSYSTEMS TROPHIC COMPONENTS
IN CLOSING RESERVOIRS OF THE VOLGA CASCADE

State Institute of Lake and River Fisheries, Saratov office, Saratov, Russia, gosniorh@mail.ru

Устойчивость функционирования водных экосистем определяется механизмом взаимодействия трофических звеньев, главным образом – абиотических факторов и автотрофных организмов.

По своей морфологии и гидрологическому режиму Саратовское и Волгоградское водохранилища относятся к речному типу водоемов с высокой и средней проточностью (коэффициенты водообмена 18.9 и 7.7 соответственно). Сходство гидрологического режима водохранилищ обусловило общность динамики гидрохимических характеристик. За рассматриваемый период (2004–2013 гг.) отмечен отрицательный многолетний тренд водного стока, зарегистрированы некоторые изменения гидрохимических характеристик водохранилищ, которые не могли не отразиться на структурных и функциональных особенностях альгоценозов. Со снижением стока в

Саратовском водохранилище статистически значимо связано уменьшение среднесезонных значений перманганатной окисляемости ($R = 0.62$, $p = 0.02$), главным образом характеризующей содержание аллохтонного органического вещества. В Волгоградском водохранилище также отмечена тенденция к снижению величины перманганатной окисляемости за десятилетний период, хотя корреляционная связь с водным стоком не доказана.

В многолетней динамике форм минерального азота можно отметить тенденцию к уменьшению содержания аммонийного азота, нитратов и, соответственно, суммарного минерального азота. Корреляционные отношения, связывающие перманганатную окисляемость и соединения азота, указывают на определенную долю терригенных источников в балансе его минеральной формы. Отрицательный тренд поверхностного стока приводит к снижению среднесезонной концентрации аммонийного азота, нитратов и суммарного минерального азота. В то же время в исследуемый период отмечено повышение содержания нитритов. Вследствие их неустойчивости, в водохранилищах с нормальным кислородным режимом их концентрации, как правило, незначительны. С 2008 г. в водохранилищах наблюдается увеличение числа проб с превышением ПДК по нитритам, в некоторых случаях – в 14 раз. В Саратовском водохранилище в 2010 г. количество проб с превышением ПДК по нитритам составило 22%, в 2011 г. – 68%, в 2012 г. – 44%, в 2013 г. оно снизилось до 7%. В Волгоградском водохранилище доля проб с превышением норм колебалась в пределах 10–21%. Нарушение скорости процесса нитрификации может быть связано с возрастанием токсического загрязнения водохранилищ, о чем свидетельствует рост концентрации тяжелых металлов в воде (меди и свинца) в последние годы. Уровень минерального фосфора, второго важнейшего для развития фитопланктона биогенного элемента, за десятилетний период колебался незначительно, и изменения среднесезонных концентраций этого элемента в водохранилищах происходили синхронно.

С целью выявления зависимости между определенными группами водорослей и биогенными элементами проведен многофакторный анализ среднесезонных показателей. Изменения биомассы фитопланктона связаны с колебаниями содержания соединений азота. Так, коэффициент корреляции между биомассой и нитратами в Саратовском водохранилище составил 0.6 ($p = 0.04$), в Волгоградском – между биомассой и суммарным азотом – 0.72 ($p = 0.02$), нитратами – 0.66 ($p = 0.04$).

Ежегодные изменения суммарной биомассы фитопланктона существенны. Отсутствие выраженного тренда этого показателя свидетельствует об устойчивости экосистемы (Далечина и др., 2012). В то же время отмечены отчетливые тенденции к снижению биомассы зеленых водорослей (*Chlorophyta*) и росту биомассы синезеленых (*Cyanophyta*). Корреляционный анализ выявил достоверную связь между биомассой зеленых водорослей и содержанием аммонийного азота ($R = 0.81$, $p = 0.001$) и содержанием суммарного минерального азота ($R = 0.64$, $p = 0.04$). Одновременно происходит увеличение биомассы синезеленых водорослей на фоне снижения содержания нитратного и аммиачного азота. Корреляционная связь биомассы цианобактерий с содержанием соединений азота не установлена. Стимулирующим фактором развития *Cyanophyta* и подавляющим фактором развития *Chlorophyta* является снижение соотношения азота и фосфора (Левич и др., 1992). В Волгоградском водохранилище с концентрацией кремния в воде статистически значимо ($R = 0.69$, $p = 0.02$) связана биомасса диатомовых водорослей. В Саратовском водохранилище связь между этими показателями не установлена.

В целом можно отметить, что в Саратовском водохранилище корреляционные отношения между характеристиками фитопланктона и содержанием в воде биогенных элементов менее выражены, чем в Волгоградском водохранилище, что, видимо, связано с большей проточностью Саратовского водохранилища.

Далечина И.Н., Мосияш С.А., Филимонова И.Г. Фитопланктон и биогены Волгоградского водохранилища // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ: Матер. докл. Всерос. конф. Борок, 2012. С. 54–57.

Левич А.Н., Худоян А.А., Булгаков Н.Г., Артюхова В.И. О возможности управления видовой и размерной структурами сообщества в экспериментах с природным фитопланктоном *in vivo* // Биол. науки. 1992. №7. С.17–29.

В.Н. Никулина

ФИТОПЛАНКТОН ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПРИМЕРЕ ЭСТУАРИЯ РЕКИ НЕВЫ

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, vera.nikulina@zin.ru

V.N. Nikulina

PHYTOPLANKTON UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT WITH REFERENCE TO THE NEVA ESTUARY

Zoological Institute RAS, St. Petersburg, Russia, vera.nikulina@zin.ru

Эстуарий р. Нева, включает пресноводную мелководную Невскую губу (средняя глубина 4 м) и восточную часть Финского залива. С учетом глубины и солёности воды восточная часть Финского залива подразделяется на внутренний (глубина до 30 м, солёность до 2 ‰) и внешний (глубина до 60 м, солёность до 6‰) эстуарии. Эта часть Финского залива подвержена наибольшему антропогенному воздействию не только потому, что на ее территории находится крупнейший мегаполис г. Санкт-Петербург, но и благодаря мощному строительству на всей акватории (комплекс защитных сооружений, новые порты, реконструкция морского фасада города и мн. др.). Многолетние наблюдения за фитопланктоном, которые проводятся в столь сложной экосистеме эстуария р. Нева, показали, что на видовой состав и количественное развитие водорослей большое влияние оказывают не только антропогенные факторы, но и масштабные колебания гидрометеорологического режима всего Балтийского моря.

Наиболее характерное антропогенное воздействие проявилось при строительстве комплекса защитных сооружений (КЗС). КЗС изменил гидродинамические условия в западной части Невской губы и в мелководной восточной части залива. Перед защитными сооружениями в пределах 3–4 километровой зоны возникли участки с усилением скоростей течения перед водо- и судопропускными отверстиями и уменьшением перед глухими частями плотины. Западная часть Невской губы в районе северных ворот до строительства сооружений характеризовалась как транзитная зона, где биомасса фитопланктона в позднелетний период составляла не более 0.7 мг/л. После строительства дамбы биомасса возросла в 2–2.5 раза. В Невской губе из-за мелководности и активного перемешивания водных масс, нет подходящих штилевых условий для развития классической формы «цветения» воды. Тем не менее, в количественных пробах планктона в последние годы часто отмечаются не встречавшиеся ранее цианобактерии *Lemmermanniella pallida* (Lemm.) Geitl. а также виды, не входившие ранее в число доминирующих: цианобактерия *Romeria gracilis* Koczw., жгутиковые зеленые водоросли *Eudorina elegans* Ehr. из порядка Volvocales, что, несомненно, свидетельствует об изменившихся гидродинамических условиях в губе.

Инженерные работы по углублению фарватера и намыву новых территорий, проводившиеся в 2006 г., привели к повышению содержания взвешенных частиц в воде, при этом наибольшие концентрации взвеси наблюдались вдоль северного побережья. Резкое снижение прозрачности воды в Невской губе и восточной части Финского залива негативно сказалось на состоянии сообществ водорослей, как планктона, так и обрастаний. Водоросли планктона были представлены бедным видовым составом и крайне невысокой биомассой. В пробах из Невской губы встречалось не более 6–10 видов, биомасса составляла 0.03–0.10 мг/л, что в 10–15 раз ниже обычно наблюдаемых. Подобная ситуация сложилась и в северо-западной ку-

рортной зоне, при этом сократилась численность всех групп водорослей. В 2008 г. прозрачность увеличилась, и общая биомасса фитопланктона в летний период достигла обычной величины 3–4 мг/л, но при этом изменения произошли в количественном развитии отдельных групп и видов водорослей. Например, доля криптофитовых водорослей возросла до 37% вместо 10%, наблюдавшихся в предыдущие годы. Подобные изменения наблюдались и в более ранних работах, которые проводились в Финском заливе при строительстве портов в г. Высоцке и г. Приморске (Максимова, 2006).

Ответная реакция обрастаний макроводорослей проявилась на следующий год. Заиливание каменистого субстрата уменьшило его доступность для развития водорослей. В последующие годы, когда каменистый субстрат естественным путем очистился, биомасса макроводорослей достигла значений, наблюдавшихся в годы, предшествующие инженерным работам, а в 2011 году, даже их превысила (Никулина, Губелит, 2012).

Процессы эвтрофирования особенно четко проявляются во внутреннем эстуарии р. Нева. Здесь чаще всего в летний период наблюдается «цветение» воды синезелеными водорослями и массовое развитие в прибрежье нитчатых водорослей *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. (Nikulina, Gubelit, 2011). Эвтрофирование эстуария Невы, связано с высокой нагрузкой биогенными элементами, которая определяется не только хозяйственной деятельностью, но и особенностью функционирования эстуарной экосистемы (Голубков и др., 2012). В фитопланктоне в последние годы произошли изменения в количественном и в структурном составе водорослей. Из комплекса синезеленых водорослей практически исчез вид *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Komarek, в период «цветения» стали преобладать виды-азотфиксаторы. В комплексе диатомовых водорослей снова возросла доля *Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge. Происходящие изменения связывают с постройкой очистных сооружений и снижением сброса неочищенных сточных вод, которые не привели к сокращению количественных показателей фитопланктона, но отразились на структурном составе водорослей.

Голубков М.С., Голубков С.М., Умнова Л.П. Влияние геохимических барьеров на процессы продукции и деструкции органического вещества в эстуариях // Динамика биологического разнообразия и биоресурсов континентальных водоемов. СПб, Наука, 2012. С. 41–55.

Максимова О.Б. Влияние повышенной мутности воды на структурно-функциональные характеристики фитопланктона // Экологические аспекты воздействия гидростроительства на биоту акватории восточной части Финского залива. Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 2006. Вып. 331. С. 86–121.

Никулина В.Н., Губелит Ю.И. Фитопланктон и фитообрастания восточной части Финского залива в последнее десятилетие в условиях антропогенного воздействия // «Экологическая безопасность приморских регионов» Матер. междунар. конф. посвященной 150-летию Н.М. Книповича. Ростов-на-Дону, Изд. ЮНЦ РАН, 2012. С. 170–174.

Nikulina V.N., Gubelit Y.I. Cyanobacteria and macroalgae in ecosystem of the Neva estuary // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2011. № 402, 06. P. 1–12.

Ю.А. Пономарева

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОТАМОФИТОПЛАНКТОНА Р. ЕНИСЕЙ

Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия, ponomarevayulia@mail.ru

Y.A. Ponomareva

LONG-TERM DYNAMICS OF POTAMOPHYTOPLANKTON IN THE YENISEY RIVER

Institute of Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, ponomarevayulia@mail.ru

Интенсивное комплексное использование р. Енисей привело к необходимости планирования мероприятий по рациональной эксплуатации и сохранению экологического равновесия одной из величайших рек мира. Для достижения этого необходим прогноз биологического режима р. Енисей, в том числе и потамофитопланктона (сообщества фитопланктона в реках с быстрым течением), как одного из компонен-

тов гидроэкосистемы. Для изучения межгодовой динамики потамофитопланктон выбран стационарный участок р. Енисей с координатами 55°98'с.ш. 92°78' в.д., расположенный в 40 км ниже плотины Красноярской ГЭС. Материалом для данной работы послужили исследования потамофитопланктона этого участка в период с 2008 по 2011 гг. Использованы общепринятые методики сбора и обработки проб (Вельдре, 1963; Киселев, 1969; Руководство по методам..., 1983; Руководство по гидробиологическому..., 1992).

За период наблюдений в потамофитопланктоне р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС обнаружено 99 таксонов водорослей ниже рода, относящихся к 6 отделам, 8 классам, 15 порядкам, 28 семействам и 47 родам. В межгодовой динамике существенных изменений в соотношении обилия водорослей основных систематических групп не выявлено. Так, особую роль в формировании фитоценоза исследуемого участка реки на протяжении четырех лет наблюдений играли диатомовые и зеленые водоросли, включающие 66% и 22% общего флористического разнообразия соответственно. Цианобактерии, динофитовые, золотистые и криптофитовые немногочисленны и характеризовались небольшим видовым разнообразием. Численность фитопланктона изменялась от 0.07 (январь 2008 г.) до 12.2 млн кл./л (июнь 2009 г.) при среднем значении 1.14 ± 0.26 млн кл./л. Биомасса варьировала от 0.07 (январь 2010 г.) до 23.0 мг/л (июнь 2009 г.), в среднем, составляя $1,46 \pm 0,28$ мг/л. Многолетние наблюдения позволили установить следующие закономерности. Слабое развитие потамофитопланктона в р. Енисей характерно для зимы и осени, интенсивное – для весны и лета. Виды, определяющие фон потамофитопланктона в течение года, были достаточно постоянны: *Diatoma vulgare* Bory, *Hanea arcus* (Ehr.) Kütz., *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm., *Fragilaria crotonensis* Kitt. В сообществе четко прослеживалась сезонная динамика. Так в нижнем бьефе Красноярской ГЭС с апреля по май наблюдалось увеличение численности и биомассы потамофитопланктона, связанное с развитием диатомовых водорослей *D. vulgare* и *H. arcus*, составляющих 29–51% биомассы. В июне бурное развитие *A. islandica* привело к резкому и наибольшему увеличению структурных показателей, и биомасса доминанта достигала 90% общей биомассы. Одновременно с *A. islandica* в июне–июле встречалась *C. radiosa*. В августе доминирующее положение занимали диатомеи *F. crotonensis*, которые формировали до 54% всей биомассы планктона. Таким образом, стационарные исследования позволили определить не только годовой ход развития потамофитопланктона реки, но и выявить сезонную динамику доминирующего комплекса водорослей.

Вельдре С.Р. Статистическая проверка счетного метода количественного анализа планктонных проб // Применение математических методов в биологии. Л.: Наука, 1963. Т. 2. С. 10–31.

Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука, 1969. Т. 1. 657 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 184 с.

Е.В. Протопопова

МОНИТОРИНГ ФИТОПЛАНКТОНА ЗАЛИВА ЩУЧИЙ, ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО (1997–2013 гг.)

Институт озераведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, ephyto@mai.ru

E.V. Protopopova

MONITORING OF PHYTOPLANKTON IN THE SHCHUCHIY BAY, LAKE LADOGA (1997–2013)

Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia, ephyto@mai.ru

Щучий залив расположен в западной части шхерного района Ладожского озера недалеко от г. Приозерск. Площадь залива составляет 0.4 км², средняя глубина 2.0 м, максимальная до 4.0 м. В залив через прорытый канал из промежуточного водо-

ема-отстойника (оз. Дроздово) с 1968 г по 1986 г поступали сточные воды Призерского ЦБК. Несмотря на интенсивный водообмен с основной акваторией Ладоги, достигавший 29 раз в год, экосистема Щучьего залива была разрушена. После закрытия ЦБК в голове залива была построена дамба из плотно пригнанных камней высотой около 2 м, отделяющая часть залива от основной акватории. В фитопланктоне залива в конце 1980-х – начале 1990-х гг. в летний период преобладали мелко-клеточные хризомонады – виды родов *Chromulina*, *Chrysochromulina* и *Ochromonas* (Rasporov et al., 1996), характерные для загрязненных водоемов.

Наши мониторинговые исследования залива Щучий проводились в летний период (конец июля – начало сентября) с 1997 по 2013 г. Пробы фитопланктона объемом 0.5 л отбирали с поверхностного слоя воды батометром на трех станциях: возле дамбы (ст. 1), в центре залива (ст. 2) и на выходе из залива (ст. 3). Пробы фиксировали раствором Люголя с последующим добавлением формалина и обрабатывали по стандартной методике под световым микроскопом.

Всего в количественных пробах за исследованный период было обнаружено 132 таксона водорослей рангом ниже рода, относящихся к 9 отделам: Chlorophyta (44), Bacillariophyta (30), Cyanophyta (21), Chrysophyta (11), Dinophyta (7), Cryptophyta (9), Euglenophyta (8), Raphidophyta (1), Xanthophyta (1). Из всех встреченных видов 93 % были типичными планктонными формами. Подавляющее большинство водорослей – пресноводные олигогалобы, из которых 78 % – индиференты, 16 % – галофилы и 6 % – галофобы. По географическому распространению 82 % являются космополитами, 13 % – бореальными и 5 % – северо-альпийскими. В составе фитопланктона найдено 90 видов-индикаторов сапробности. Из них 66 видов или 73 % относятся к олиго-бета- и бета-мезосапробным формам, бета-альфа-мезосапробы составляли 7 %, альфа-мезосапробы – 7 % и олигосапробы – 13 %.

Количество видов на станциях залива Щучий изменялось от 11 до 43. Минимальное количество было обнаружено на ст. 1 в конце августа 2007 г., максимальное – на ст. 2 в августе 2005 г. В целом по заливу количество видов водорослей изменялось от 29 (конец июля 2001 г.) до 61 (август 2006 г.) На протяжении всего исследованного периода на всех трех станциях преобладали преимущественно криптофитовые, синезеленые и диатомовые, а на ст.1 – также зеленые водоросли. Среди криптофитовых доминировали *Cryptomonas erosa* Ehr., *Cr. reflexa* (Marsson) Skuja, *Cr. ovata* Ehr. и *Rhodomonas lacustris* Pasch. et Rutt. Виды *Aphanizomenon flos-aquae* (Linne) Ralfs, *Anabaena lemmermanii* P. Richt., *A. spiroides* Kleb. и *Woronichinia naegehiana* (Unger) Elenk. были доминантами среди синезеленых водорослей. Из диатомовых наиболее многочисленными были *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. var. *fenestrata*, *Synedra vaucheriae* var. *capitellata* (Grun.) Cl., *S. actinostroides* Lemm. и *Aulacoseira italica* var. *tenuissima* (Grun.) Simons. Среди зеленых водорослей преобладали *Pandorina morum* (Müll.) Bory, *Eudorina elegans* Ehr., *Botryococcus braunii* Kütz., и *Chlamydomonas* sp.

Криптофитовые водоросли входили в структурообразующий комплекс фитопланктона на протяжении всех лет исследования, составляя от 15 до 88% общей биомассы. Максимальное развитие криптоноад на ст. 1 и 2 наблюдается в течение последних двух лет. Синезеленые водоросли доминировали в заливе не каждый год и составляли от 11 до 81% общей биомассы. Максимальное количество синезеленых водорослей на всех трех станциях залива наблюдалось в августе 2004 г при жаркой штилевой погоде. Доминантами были *Aphanizomenon flos-aquae* и *Anabaena spiroides*. Диатомовые водоросли входили в доминантный комплекс фитопланктона в 2003, 2005 и 2006 гг., составляя в общей биомассе фитопланктона от 11 до 43%. В 2003 г при самом низком уровне воды в заливе за все исследованные годы отмечено максимальное развитие диатомей на ст.1 (доминировал вид *S. vaucheriae* var. *capitellata*). В 2006 г максимум диатомей был отмечен на ст. 2 и 3, где доминировали

S. actinostroides и *St. hantzschii*. Зеленые водоросли чаще всего входили в доминантный комплекс фитопланктона на ст.1, составляя от 16 до 33% общей биомассы. Максимальное развитие зеленых, главным образом вольвоксовых водорослей, как и диатомей наблюдалось в периоды с наиболее низким уровнем воды с 2003 по 2006 гг. Основным доминантом был вид *P. torum*. В августе 2010 г в заливе Щучий доминировал представитель рафидофитовых водорослей *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing (до 90% общей биомассы). Максимум этой крупной водоросли был обнаружен на ст.1, при этом на каждой последующей станции количество *G. semen* уменьшалось на порядок.

В течение 12 лет исследований фитопланктона в заливе Щучий, усредненная для трех станций залива биомасса изменялась от 0.5 (2001 г.) до 4.4 г/м³ (2012 г.), при этом наименьшим размах колебаний биомассы был на ст.3 (0.5–2.3 г/м³), а наибольшим – на ст.1 (0.4–8.8 г/м³). Такие флуктуации количественных показателей фитопланктона могут быть связаны и с изменением уровня воды в заливе, и с временем отбора проб (самая низкая биомасса наблюдалась в заливе в конце июля 2001 г.), и с погодными условиями (штилевая теплая погода способствовала в 2004 г интенсивному развитию синезеленых водорослей по всему заливу). Начиная с 2010 г., отмечено возрастание в 1.5–2 раза усредненной по заливу биомассы. Это в основном связано с увеличением биомассы на станциях возле дамбы и в центре залива, тогда как биомасса на станции у выхода из залива практически не меняется. На ст. 1 и 2 последние два года более чем 70% общей биомассы фитопланктона составляют криптофитовые водоросли, которые, как известно, способны усваивать органические соединения, переходя на миксотрофный тип питания. Индекс сапробности на станциях залива за исследованный период колебался от 1.62 на ст. 3 в 1998 г., до 2.5 на ст. 1 в 2003 г. Все это может указывать на попадание загрязненной воды сквозь дамбу в Щучий залив.

Согласно существующим классификациям трофии вод по продукционным показателям фитопланктона (по биомассе) Щучий залив можно отнести к мезотрофным водоемам (Трифенова, 1994). По сапробиологическому анализу альгоценозов все станции залива Щучий входят в бета-мезосапробную зону. Таким образом, по трофосапробиологическим показателям (Оксиюк и др., 1993) залив Щучий в последние годы можно отнести к слабо загрязненным водоемам.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Трифенова И.С. Изменение фитопланктонных сообществ при эвтрофировании озер // Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб. 1994. 78 с.

Raspopov I.M., Andronikova I.N., Dotsenko O.N. et al. Littoral zone of Lake Ladoga: ecological state evaluation // Hydrobiologia. 1996. V. 322. P. 39-47.

В.Л. Разумовский
ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДИАТОМОВЫХ
КОМПЛЕКСОВ В ДВУХ ГОРНЫХ ОЗЕРАХ КАВКАЗА

Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия, nethaon@mail.ru

V.L. Razumovskiy
LONG-TERM CHANGES IN TAXONOMIC STRUCTURE OF THE DIATOMS IN TWO MOUNTAIN LAKES,
THE CAUCASUS

Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia, nethaon@mail.ru

Были изучены диатомовые комплексы оз. Каракель (Республика Карачаево-Черкессия) и оз. Донгузорун (Республика Кабардино-Балкария). Оба озера имеют ледниковое происхождение. Первичный материал был получен в результате бурения озерных осадков в наиболее глубокой части этих озер. Колонки донных отложений (ДО) из оз. Каракель были отобраны в сентябре 2010 г, а из оз. Донгуз-Орун в

августе 2012 г. Диатомовые комплексы из оз. Каракель были изучены в интервале 0–48 см, а из оз. Донгузорун в интервале 0–25 см.

Для отбор образцов, обработки проб, приготовления постоянных препаратов, подсчета и идентификации створок диатомей использовали стандартные методики (Давыдова, 1985; Battarbee, 1986). При комплексном исследовании полученных образцов озерных осадков применены литологические, геохимические, изотопные и другие методы изучения (Соломина и др., 2013), что в дальнейшем было использовано при сопоставлении с результатами диатомового анализа. Помимо классических методов диатомового анализа применен сравнительно новый метод графического анализа таксономических пропорций в диатомовых комплексах (Разумовский, Моисеенко, 2009; Разумовский, 2012). На основе этого метода для всех проанализированных проб построены гистограммы таксономических пропорций в линейной системе координат. Были выделены четыре группы гистограмм: гистограммы, которые характеризуют переотложенные комплексы; гистограммы, в которых отмечены элементы переотложения; гистограммы с выраженным доминированием одного таксона и гистограммы с ненарушенными таксономическими пропорциями. Эти четыре группы характеризуют процесс естественного восстановления экосистемы озера после селевых сходов (Разумовский, Разумовский, 2013).

В оз. Каракель переотложенные комплексы приурочены к интервалам 22–23, 23–24, 28–29, 32–33, 33–34, 37–38, 43–44 см. Диатомовые комплексы, в которых есть выраженные элементы переотложения, располагаются в интервалах 36–37, 41–42, 42–43 см. Вероятно, заметное искажение прижизненных пропорций, которое зафиксировано в интервалах 13–14 и 14–15 см, также связано с процессами переотложения. По таксономической структуре диатомовых комплексов элементы переотложения в оз. Донгузорун идентифицированы в интервалах 8.0–8.5, 19.0–19.5, 23.0–24.5 см. Переотложенный диатомовый комплекс содержится только в интервале 22.0–22.5 см. Достоверность (объективность) выделения переотложенных комплексов при помощи метода графического анализа таксономических пропорций подтверждается результатами химического и литологического анализа. По результатам изотопного датирования, длительность реконструкции для оз. Каракель составила около 2000 лет (Соломина и др., 2013), а для оз. Донгузорун ~150 лет (Разумовский и др., 2014). Возможность распознавания процессов переотложения на акватории озера при помощи диатомового анализа позволяет получать новую достоверную информацию для дальнейших палеоэкологических и палеоклиматических реконструкций.

Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 244 с.

Соломина О.Н., Калугин И.А., Александрин М.Ю. и др. Бурение осадков оз. Каракель (долина р. Теберда) и перспективы реконструкции истории оледенения и климата голоцена на Кавказе // Лед и снег. 2013. № 2 (122). С. 102–111.

Разумовский Л.В. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа. М.: Геос, 2012. 200 с.

Разумовский Л.В., Калугин И.А., Дарин А.В. и др. Реконструкция температурного режима двух горных озер Кавказа по результатам диатомового анализа // Вестник Тюменского Государственного Университета, 2013. №1. Геоэкология. (в печати).

Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Докл. РАН. 2009. Т. 429. №2. С. 274–277.

Разумовский Л.В., Разумовский В.Л. Регистрация новейших экосистемных событий в озере Каракель по переотложенным диатомовым комплексам // Вестник Тюменского Государственного Университета. 2013. №12. Экология. С. 121–127.

Battarbee R.W. Diatom analyses // Handbook of Holocene Paleoecology and Paleobiology. Chichester: Wiley. 1986. P. 531–570.

В.М. Сергеева¹, А.Ф. Сажин¹, Н.Н. Jakobsen², J.C. Nejstgaard³
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО СТРУКТУРЫМ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ
ХАРАКТЕРИСТИКАМ ФИТОПЛАНКТОНА МЕТОДОМ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия,

²Aarhus University, Aarhus, Denmark,

³Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Neuglobsow, Germany
vsergeeva@gmail.com

V.M. Sergeeva¹, A.F. Sazhin¹, N.N. Jakobsen², J.C. Nejstgaard³
EVALUATION OF AQUATIC ECOSYSTEM STATE USING STRUCTURAL AND FUNCTIONAL
CHARACTERS OF PHYTOPLANKTON OBTAINED BY CYTOMETRIC METHOD

¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia, vsergeeva@gmail.com

²Aarhus University, Aarhus, Denmark

³Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Neuglobsow, Germany

Изменения структуры и физиологического состояния фитопланктона могут служить индикатором изменений в водных экосистемах. Массовое развитие какой-либо группы или отдельных видов приводит не только к обеднению воды кислородом и заморным явлениям, но и к образованию большого количества токсинов, ухудшая тем самым качественные характеристики водоема.

В настоящее время для проведения мониторинговых исследований фитопланктона перспективными методами являются методы цитометрического анализа. Такой подход, по сравнению с классическими методами световой микроскопии, позволяет получать большие объемы статистически достоверных количественных данных о структуре и физиологическом состоянии фитопланктона за сравнительно короткое время. Большинство моделей проточных цитометров достоверно оценивают обилие одноклеточных организмов размерами до 20 мкм. Подсчет количества одноклеточных организмов большего размера или колоний, которые образуют, например, диатомовые водоросли, недостоверен. Используемый нами проточный цитометр CytoSense (<http://www.cytobuoy.com>) позволяет исследовать не только одиночные клетки, но также и колонии водорослей в более широком размерном диапазоне от 1 до 700 мкм в диаметре (до 10 мм в длину), что является большим преимуществом при исследовании природного фитопланктона. Несмотря на очевидные достоинства метода проточной цитометрии и использования прибора CytoSense, существенная изменчивость численности и состава фитопланктона в зависимости от его локализации и сезона затрудняет корректную интерпретацию массивов данных, полученных только путем цитометрии. Очевидно, что необходима калибровка этих данных с результатами, полученными классическими методами световой микроскопии. Такая работа была проделана для единичных видов одноклеточных и колониальных планктонных водорослей (Dubelaar et al., 2004; Takabayashi et al., 2006; Zhou Q., 2012). Однако остается невыясненным, как согласуются результаты подсчета числа клеток цитометром Cytosense с данными микроскопического анализа при разной концентрации клеток и составе фитопланктонного сообщества в природной воде, а не в культуре клеток.

В рамках настоящего исследования мы провели калибровку данных структуры фитопланктона, полученных с использованием проточного цитометра CytoSense и методами эпифлуоресцентной микроскопии. Материал был собран в ходе экспериментов в мезокосмах на базе Университета г. Берген (http://mesocosm.eu/bergen_espegrend). Отбор проб проводили ежедневно с 8 по 30 марта 2012 г. из 3-х мезокосмов, заполненных природной водой из фьорда, с добавлением в них биогенных элементов. В ходе эксперимента развитие диатомового сообщества сменилось развитием примнезиофитовой водоросли *Phaeocystis pouchetii*. Таким образом, исследования проводили на разных стадиях развития фитоценоза. Одновременно с экспериментом было отобрано 5 проб непосредственно из фьорда из слоя максимума флуоресценции. Кроме этого мы провели сравнение данных по

содержанию хлорофилла *a* (Хл), полученных с помощью цитометра CytoSense и классическим флуоресцентным методом Парсонса (Parsons et al., 1984).

Сравнение цитометрических данных с данными световой микроскопии показало, что таксономическая идентификация групп водорослей в мезокосмах затруднена по сравнению с фитопланктоном из естественной среды обитания, главным образом, вследствие образования большого количества детрита в ходе развития «цветения». Несмотря на это, коэффициент корреляции (R^2) для данных, полученных двумя методами, был выше 0.7 как во фьорде, так и в мезокосмах для *Micromonas pusilla*, жгутиковой и колониальной стадий *Phaeocystis pouchetii*, *Chrysochromulina* spp., для групп Cryptophyceae и Dinophyta. Для диатомовых водорослей коэффициент корреляции колебался от 0.56 до 0.80 в зависимости от видового состава этой группы. Коэффициент корреляции сравнения данных по содержанию Хл был выше 0.85 и при низких концентрациях (< 0.6 мкг/л), и при высоких (>15 мкг/л).

Таким образом, применение проточного цитометра CytoSense позволяет быстро (10-20 мин на пробу) получать статистически достоверные количественные характеристики разных групп фитопланктона в большом размерном диапазоне в природных сообществах и в эксперименте, при соответствующей калибровке с данными микроскопии. С помощью этого метода можно получать достоверные данные по численности мелких жгутиковых водорослей с размером клеток <5 мкм, что существенно облегчает трудоемкую обработку проб под микроскопом. Кроме этого, по сравнению с методами микроскопии, измерение количества пигментов в клетке и определение их состава в разных группах водорослей с помощью CytoSense позволяют судить о физиологическом состоянии фитопланктона.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-05-0028, 14-0531505.

Dubelaar G B.J., Geerders P.J.F., Jonker R.R. High frequency monitoring reveals phytoplankton dynamics // J. Environ. Monit. 2004. V. 6. P. 946–952.

Parsons T.R., Maita Y., Lalli C.M. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford, 1984. 187 p.

Takabayashi M., Lew K., Johnson A., et al. The effect of nutrient availability and temperature on chain length of the diatom, *Skeletonema costatum* // J. of Plankton Research. 2006. V. 28. N. 9. P. 831-840.

Zhou Q., Chen W., Zhang H. et al, A flow cytometer based protocol for quantitative analysis of bloom-forming cyanobacteria (*Microcystis*) in lake sediments // J. of Environmental Sciences. 2012. V. 24. Is. 9. P. 1709–1716.

Л.Е. Сигарева, Н.А. Тимофеева
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХЛОРОФИЛЛА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия,
sigareva@ibiw.yaroslavl.ru

L.E. Sigareva, N.A. Timofeeva

LONG-TERM DYNAMIC OF CHLOROPHYLL IN BOTTOM SEDIMENTS OF RYBINSK RESERVOIR

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, sigareva@ibiw.yaroslavl.ru

Хлорофилл *a* занимает особое место в изучении фундаментальных и прикладных проблем многих естественных наук. В отечественной гидроэкологии интерес к исследованиям хлорофилла усилился после работ Г.Г. Винберга (1960), в которых предложено использовать концентрацию этого пигмента в планктоне в качестве показателя биомассы водорослей и интенсивности фотосинтеза. Основное направление работ по пигментам в водной экологии – закономерности пространственно-временного распределения. Теоретической посылкой, обуславливающей индикаторную значимость хлорофилла, являются представления об обязательном его участии в поглощении и преобразовании солнечной энергии при фотосинтезе, а также наличие прямой зависимости между концентрацией хлорофилла, биомассой водорослей и интенсивностью фотосинтеза при оптимальной освещенности. Для экологических

работ имеет значение факт повсеместного распространения пигментов и соотношение их активных и деградированных форм в среде обитания гидробионтов. Широкое использование данных по пигментам дало возможность оценить первичную продукцию разнотипных водных объектов по хлорофиллу. Гидробиологические аспекты изучения растительных пигментов не утратили актуальность до сих пор, поскольку экспериментальное определение первичной продукции в природных условиях остается практически невыполнимой задачей.

Согласно положениям продукционной гидробиологии, первичная продукция создает энергетическую базу существования всей экосистемы, и между всеми этапами продукционного процесса существуют определенные количественные соотношения (Винберг, 1960). Следовательно, продукционные свойства нижнего яруса экосистемы водоема связаны с показателями планктонных водорослей. Представления о прямой зависимости продукционных показателей фитопланктона и донных отложений лежат в основе расшифровки палеонтологических материалов, дающих возможность восстановить экологические события прошлого. Однако соотношение между продукционными показателями верхнего и нижнего ярусов экосистемы зависит не только от биотических, но и от абиотических факторов, и не всегда может быть выражено прямой зависимостью. Для изучения этого вопроса интерес представляют динамичные экосистемы водохранилищ.

Рыбинское водохранилище – сравнительно неглубокий водоем, в нем четко выражено взаимодействие водной толщи и донных отложений. Водоохранилище относится к ряду немногочисленных водоемов, на которых проводится многолетний мониторинг продукционных процессов и абиотических условий. Использование растительных пигментов в изучении свойств донных отложений Рыбинского водохранилища было начато в 1993 г. на стандартных станциях. В докладе обобщены результаты многолетнего (2008–2013 гг.) изучения растительных пигментов в отложениях водохранилища (Сигарева, 2012; Сигарева, Тимофеева, 2013; Сигарева и др., 2013). Пробы отбирали из верхнего 5-см слоя донных отложений на постоянных станциях в течение безледного периода. Многолетнюю динамику пигментов в верхнем слое донных отложений сравнивали с данными о вертикальном распределении пигментов в кернах вторичных отложений, накопленных за период существования водохранилища с 1941 по 2009 гг. Метод определения пигментов – стандартный спектрофотометрический. Данные приведены в виде суммы хлорофилла с продуктами разрушения – феопигментами.

Результаты показали, что распределение растительных пигментов по котловине водохранилища согласуется со структурой грунтового комплекса. Из-за сильной мозаичности в распределении грунтов характер распределения пигментов в донных отложениях по станциям не совпадает с таковым в водной толще, и соотношение между продукционными характеристиками водной толщи и донных отложений заметно изменяется. Для многолетней динамики концентрации пигментов в отложениях илов свойственна цикличность, характерная для фитопланктона (Пырина и др., 2006). Отсутствие тесной количественной связи между содержанием пигментов в донных отложениях и водной толще водохранилища требует специального изучения с привлечением новейших методов качественного и количественного определения пигментов в различных компонентах экосистемы.

Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: изд-во АН БССР. 1960. 329 с.

Пырина И.Л., Литвинов А.С., Кучай Л.А. и др. Многолетние изменения первичной продукции фитопланктона Рыбинского водохранилища в связи с действием климатических факторов // Состояние и проблемы продукционной гидробиологии. М.: Товарищество науч. изданий КМК. 2006. С. 36–46.

Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. М.: Товарищество науч. изданий КМК. 2012. 217 с.

Сигарева Л.Е., Законнов В.В., Тимофеева Н.А., Касьянова В.В. Осадочные пигменты и скорость ило-накопления как показатели трофического состояния Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. №1. С. 62–69.

Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. Растительные пигменты в донных отложениях как показатели первичной продукции фитопланктона в крупном водохранилище // Водоросли в эволюции биосферы. М.: ПИН РАН. 2013. С. 121–123.

В.В. Соловьева, Л.Г. Корнева

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД РЫБИНСКОГО И ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ГРУППАМ ФИТОПЛАНКТОНА (ПО ИНДЕКСУ СООБЩЕСТВ Q)

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, solo@ibiw.yaroslavl.ru

V.V. Solovyeva, L.G. Korneva

ESTIMATION OF THE WATER QUALITY IN RYBINSK AND GORKY RESERVOIRS USING PHYTOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS (BY COMMUNITY INDEX Q)

I.D. Papanin Institute for biology of inland waters RAS, Borok, Russia, solo@ibiw.yaroslavl.ru

Для оценки качества вод разработано множество методов, основанных на биологическом контроле (Семенченко и др., 2011). Один из них базируется на функциональной классификации фитопланктона (Reynolds et al., 2002). Данный подход, основанный на использовании в качестве биоиндикаторов функциональных групп, присутствие которых в водоеме отражает совокупное воздействие нескольких факторов среды, может наиболее адекватно оценивать экологическое состояние водных экосистем. Цель настоящего исследования – оценка качества вод различных участков Рыбинского и Горьковского водохранилищ по функциональным группам фитопланктона (индексу сообществ Q) (Reynolds et al., 2002, Padisák et al., 2006, 2009).

Рыбинское и Горьковское водохранилища различаются по морфометрическим характеристикам (площадь акватории при НПУ 4550 км² и 1591 км², объем водной массы 25.4 км³ и 8.8 км³, средняя глубина 5.6 м и 5.5 м соответственно) и коэффициентам условного водообмена (1.9 и 6.1). Для оценки качества вод, в соответствии с рекомендациями (Padisák et al., 2006), выбрана фаза позднего лета – ранней осени (2000, 2001 и 2005 гг.). При этом использовали только доминирующие виды ($\geq 10\%$ общей биомассы фитопланктона), которые создавали $> 85\%$ общей биомассы фитопланктона в 81% случаев (Рыбинское водохранилище) и 90% (Горьковское). Эти виды соответствовали различным функциональным группам с определенным буквенным кодом (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009), за исключением *Stephanodiscus invisitatus* Hohn & Hellermann (диатомовые) и *Peridiniopsis kevei* Grigorszky et Vasas (динофитовые). Оценку качества воды проводили с помощью индекса Q (индекс сообществ) с учетом биомассы функциональных групп фитопланктона и коэффициентов фактора F, соответствующего 3-му типу вод (кальциево-щелочные) согласно типологии, разработанной для венгерских озер (Padisák et al., 2006).

В состав ведущих видов Рыбинского водохранилища входили: синезеленые *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. и *M. wesenbergii* (Kom.) Kom. in Kondrateva (код **M**), *Aphanizomenon flos-aquae* L. Ralfs ex Bornet & Flahault (код **H₁**), диатомовые *Actinocyclus normanii* (Greg.) Hust. и *Skeletonema subsalsum* (A.Cl.) Bethge (код **D**), *Stephanodiscus binderanus* (Kütz.) Krieg., *S. neoastraea* Håk. et Hickel emend. Casper, Scheffler et Augsten, *Aulacoseira islandica* (O.Müll.) Sim. и *A. subarctica* (O. Müll.) Haworth. (код **B**), *A. ambigua* (Grun.) Sim. (код **C**), *A. granulata* (Ehr.) Sim. (код **P**), *Melosira varians* Ag. (код **T_B**) и *Stephanodiscus invisitatus*, зеленые *Pandorina morum* (O.Müll.) Vory (код **G**) и динофитовые *Peridiniopsis kevei*. В Горьковском водохранилище доминировали те же виды, за исключением *Stephanodiscus invisitatus*, *Peridiniopsis kevei* и *Pandorina morum*.

Согласно морфо-функциональной классификации, диатомовые были представлены видами, вегетирующими в мелководных перемешиваемых мезо- и эвтрофных водах, толерантными к дефициту света. Синезеленые – видами, предпочитающими

эв- и гипертрофные воды, толерантными к высокой инсоляции, чувствительными к перемешиванию, а зеленые – эвтрофные воды, богатые биогенными веществами, толерантными к световому дефициту. Водоросли из групп **С**, **Р**, **Г** и **Н₁** толерантны к дефициту углерода в воде. Виды, отнесенные в группу **В**, чувствительно реагируют на повышение рН водной толщи, в группы **В**, **С** и **Р** – на снижение концентрации Si, в группы **Д**, **Т_В** и **Г** – на дефицит биогенных элементов. Группу **Н₁** формируют виды, толерантные к низкому содержанию азота и биогенных веществ, чувствительные к снижению концентрации фосфора.

Основную биомассу фитопланктона в плесах Рыбинского водохранилища создавали виды из функциональных групп **В** (20%), **Р** (15%), **М** (14%), **Д** (14%) и **Н₁** (13%), **Г** (4%), **С** (1%) и **Т_В** (1%) в Волжском, из групп **В** (90%), **Н₁** (5%), **М** (2%) и **Д** (1%) в Моложском, из групп **В** (29%), **М** (16%), **Н₁** (11%), **Р** (12%), **Д** (8%), **С** (6%) и **Т_В** (3%) в Шекснинском и из групп **Н₁** (29%), **В** (28%), **М** (17%), **Р** (11%), **Д** (4%) и **Т_В** (1%) в Главном. В Горьковском – из групп **Н₁** (60%) и **М** (21%), **В** (8%), **Р** (4%) и **Д** (2%) в верхнем речном участке, из групп **В** (29%), **М** (24%), **Н₁** (18%), **Р** (12%), **Т_В** (4%), **С** (3%) и **Д** (3%) – в переходном и из групп **В** (27%), **Н₁** (23%), **Р** (18%), **М** (12%), **Д** (9%), **С** (4%) и **Т_В** (3%) – в нижнем озеровидном.

Индекс сообществ (Q) варьировал в Рыбинском водохранилище от 0.8 до 3.2 при минимальных средних величинах 1.7 ± 0.1 , указывающих на низкое качество воды в озеровидной части водоема, и максимальных 2.0 ± 0.1 – 2.2 ± 0.2 , свидетельствующих о посредственном качестве воды на речных участках плесов. В Горьковском водохранилище значения индекса Q изменялись в пределах 0.6–3.8. Низкие значения индекса (в среднем 1.1 ± 0.1) отмечались в верхней речной части Горьковского водохранилища и более высокие (2.1 ± 0.3) – в озеровидной части. В среднем, рассчитанный индекс сообществ составил 1.9 ± 0.1 для Рыбинского водохранилища и 1.6 ± 0.1 – для Горьковского.

Достоверное различие индексов сообществ получено между Главным и Шекснинским (критерий Стьюдента $t = 2.06$, $p = 0.05$, $n = 147$), Главным и Моложским ($t = 4.00$, $p = 0.001$, $n = 134$) плесами Рыбинского водохранилища, верхним и переходным ($t = 3.09$, $p = 0.01$, $n = 30$), верхним и нижним ($t = 3.48$, $p = 0.01$, $n = 23$) участками Горьковского, а также между плесами Рыбинского водохранилища и верхним ($t = 6.93$ – 9.84 , $p = 0.001$) и переходным ($t = 2.16$ – 5.11 , $p = 0.01$) участками Горьковского.

Таким образом, в летне-осенний период в 2000, 2001 и 2005 гг. доминирующие виды Рыбинского и Горьковского водохранилищ представляли 8 функциональных групп (**М**, **Н₁**, **С**, **В**, **Д**, **Р**, **Т_В** и **Г**). Индекс сообществ (Q) изменялся от величин, характерных для «посредственного», до «низкого» классов качества воды и отражал наименьший из возможных статусов экологического состояния исследованных водоемов (Padisák et al., 2006, Семенченко и др., 2011).

Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Белорусская наука. 2011. 329 с.

Padisák J., Borics G., Grigorszky I., Soróczki-Pintér É. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index // *Hydrobiologia*. 2006. V. 553. P. 1–14.

Padisák J., Crossetti L.O., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates // *Hydrobiologia*. 2009. V. 621. P. 1–19.

Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C. et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // *J. of Plankton Research*. 2002. V. 24, № 5. P. 417–428.

Н.А. Старцева, Е.Л. Воденеева, А.Г. Охапкин
ФИТОПЛАНКТОН ВОДОТОКОВ Г. НИЖНЕГО НОВГОРОДА КАК
ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ИХ ВОД

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород, Россия,
startseva@bio.unn.ru

N.A. Startseva, E.L. Vodeneeva, A.G. Okhapkin
POTAMOPLANKTON AS AN INDICATOR OF THE RIVER'S WATER QUALITY
IN NYZHNY NOVGOROD CITY

N.I. Lobachevsky Nizhniy Novgorod State University, Nizhny Novgorod, Russia startseva@bio.unn.ru

В результате многолетних наблюдений (1996–2011 гг.) изучен фитопланктон 9 малых водотоков крупного промышленного центра – г. Нижнего Новгорода. Территория города охватывает два зональных типа ландшафта: зону широколиственно-еловых (смешанных или подтаежных) лесов, локализованную в низинном Левобережье Волги и Окско-Волжского междуречья, и зону широколиственных лесов (или дубрав), расположенную в Правобережье Приволжской возвышенности. Присутствие контрастирующих между собой биоклиматических зональных единиц способствует формированию гидрологической сети, характеризующейся мозаичной структурой, различным сочетанием естественно-гидрологических, геоморфологических, природных и антропогенных условий, что и определяет уникальность района исследования (Природный..., 2000). Вода всех водотоков загрязнена соединениями железа, цинка, меди, марганца, нефтепродуктами и комплексом органических соединений. Для оценки загрязнения используют принятый в системе Гидрометеослужбы индекс загрязнения воды (ИЗВ), рассчитанный по концентрации пяти приоритетных загрязняющих веществ. Согласно ИЗВ, класс качества вод водоемов составил от III (“умеренно загрязненная”) до VII (“чрезвычайно грязная”) (Экологическое..., 2005).

Для сапробиологического анализа использовали пробы фитопланктона, отобранные в разные годы на девяти малых реках г. Нижнего Новгорода. Общий список альгофлоры составил 664 вида, а с учетом разновидностей, форм и водорослей, определенных только до рода, – 822 таксона. Из них индикаторами различных зон сапробности являлись 412 таксонов рангом ниже рода. Большинство принадлежало отделам диатомовых (128 таксонов) и зеленых (126), эвгленовые включали 64 таксона, синезеленые – 49, золотистые – 22, динофитовые – 11, криптофитовые – 7, желтозеленые – 5. В альгофлорах отдельных рек доля видов-индикаторов сапробности составила от 55 до 76%. Большинство из них являлись представителями отдела Chlorophyta, чья доля в составе альгофлор отдельных водотоков составляла от 13 (р. Борзовка) до 25% (реки Ржавка и Кова). Относительный вклад индикаторных видов Bacillariophyta был выше (29–39%) для небольших по протяженности рек Приволжской возвышенности (Кова и Старка), что объясняется диатомово-зеленым характером их альгофлоры. Кроме того, более заметным становилось участие Euglenophyta в сложении видового богатства индикаторных видов водорослей р. Борзовки (17% общего числа видов), которая представляет собой деградированный водоток, переполненный естественными и антропогенными отложениями (Экологическое..., 2005). Большая часть индикаторных видов в реках города была представлена β-мезосапробами (48% общего числа индикаторов) и олиго-β-мезосапробами (20%). Суммарный вклад этих двух групп в общее видовое богатство альгофлор отдельных водотоков составлял от 36% (р. Кова) до 49% (р. Левинка). Довольно высокой (8%) оказалась доля олигосапробов в р. Параша – водотоке, превращенном в оз. Сормовское путем запруживания и обваловки русла. Несколько выше в сравнении с остальными водотоками число видов-индикаторов α-β-мезосапробной степени загрязнения в р. Гниличка (11%), и α-мезосапробов – в р. Рахма (14%). В целом, вклад таксонов, характеризующих условия более низкой (χ, χ-о, о) и более высокой степени загрязнения (α-β, α-р, р) в конкретные флоры, был незначительным. Средневегетационные показатели сапробности водотоков, вычисленные по численности (S_N) и

биомассе фитопланктона (S_B) составили от 1.83 ± 0.04 (р. Параша) до 2.32 ± 0.08 (р. Рахма) и от 1.69 ± 0.09 (р. Параша) до 2.38 ± 0.05 (р. Кова) соответственно. В целом, величины сапробности были выше в реках Приволжской возвышенности (Старка, Кова, Рахма). Значения данных индексов для этих водотоков колебались в пределах $2.1 \pm 0.13 - 2.25 \pm 0.04$ (S_N) и $2.34 \pm 0.06 - 2.38 \pm 0.05$ (S_B). Для рек низинного Левобережья средневегетационные показатели сапробности составили от 1.83 ± 0.04 до 2.20 ± 0.05 (S_N) и от 1.69 ± 0.09 до 2.10 ± 0.06 (S_B). Анализ сезонной динамики индексов сапробности показал, что, как правило, их увеличение происходило в летний сезон (июнь–август). Абсолютного максимума S_N достиг в р. Кове (2.87), а S_B – в р. Старка (2.84) в 2003 г. Ценотический тип планктона водотоков определен как «*Navicula-Nitzschia-Cymatopleura-Suriella-Euglena*». Частота доминирования различных видов *Nitzschia* и *Navicula*, большинство которых имеют высокую индикаторную значимость, колебалась от 1 до 54%, а их вклад в формирование общей биомассы альгоценозов составил 35–98%.

В условиях низинного Левобережья (значительное увлажнение и заболоченность территории водосбора) показатели количественного развития водорослей в целом были выше, чем в водотоках нагорной части ($t_d = 5.42$, $p \leq 0.05$), а состав ценозообразующих комплексов был более разнообразным. Основными компонентами фитопланктона чаще других здесь выступали эвгленовые водоросли, в большинстве своем являющиеся β -мезосапробами (виды родов *Euglena*, *Trachelomonas*, *Lepocinclis*). Эвгленовым сопутствовали диатомовые (*Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compere и *Fragilaria crotonensis* Kitt., виды рода *Aulacoseira*, *Navicula* и *Amphora*) и зеленые водоросли, чей вклад был особенно заметен на озеровидных участках рек. Например, в р. Левинка доминировали виды рода *Chlamydomonas*, *Raphidocelis sigmaidea* Hind., *Oocystis lacustris* Chod. (β -мезо-олигосапроб), *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. et G.S. West (β -мезосапроб) и *Scenedesmus apiculatus* (W. et G.S. West) Chod.). На прудовых участках рек (р. Гниличка, оз. Сормовское) основу фитопланктона летом, как правило, формировали представители эвтрофного лимнического комплекса, в большинстве своем – олиго- и β -мезосапробы (*Ceratium hirundinella* (O.F.Mull) Dujardin, *Peridinium cinctum* Ehr., *Trachelomonas volvocina* Ehr., в период позднего лета – динофитовые и цианобактерии, с преобладанием *Ceratium hirundinella* и *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.

Таким образом, большинство ценозообразующих видов водотоков г. Нижнего Новгорода являлось β -мезосапробами. Вне зависимости от обеспеченности биогенными веществами и степени загрязнения вод средневегетационные индексы Пантле-Букка находились в пределах β -мезосапробной зоны, а качество вод водотоков по средневегетационным показателям сапробности соответствовало III классу качества – «воды умеренно загрязненные». Вероятно, система сапробных организмов имеет некоторые ограничения в использовании при определении экологического состояния водных объектов урбанизированных территорий.

Поддержано грантом РФФИ № 12-04-00878

Природный комплекс большого города: Ландшафтно-экологический анализ / Э.Г. Коломыц, Г.С. Розенберг, О.В. Глебова и др. М.: Наука; МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. 286 с.

Экологическое состояние водных объектов Нижнего Новгорода. Н. Новгород: Изд.-во ННГУ, 2005. 414 с.

Л.Н. Тикушева, Е.Н. Патова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ В РАЙОНЕ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, ist-lyudmila@yandex.ru

L.N. Tikusheva, E.N. Patova

USE OF THE ALGAE FOR WATER QUALITY ASSESSMENT IN DESIGNED ESPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORY IN BOLSHHEZEMELSKAYA TUNDRA

Institute of biology of Komi SC, Ural Office RAS, Syktyvkar, Russia, ist-lyudmila@yandex.ru

Для эффективного управления водными ресурсами необходимы разработка научных основ оценки качества вод и прогноз допустимой нагрузки на них. Реки и озера Большеземельской тундры, большая часть которых относится к категории нарушенных с чистой водой, могут быть приняты за природные эталоны. Важным компонентом водных экосистем являются водоросли, многие из которых относятся к индикаторам состояния водной среды и используются для определения степени антропогенной нагрузки. Выбор района исследований обусловлен необходимостью комплексных экологических изысканий на данной территории в связи с созданием новой особо охраняемой территории Республики Коми. Цель данной работы – оценка экологического состояния водоемов бассейна р. Силова-Яха на основе гидрохимических данных и диагностических видов водорослей различных таксономических групп. Исследованы р. Силова-Яха (на перекате, в устье), р. Хальмерью и руч. Безымянный (правые притоки р. Силова-Яха), озера Хальмерты, Тройное, Круглое, ряд озер без названия (размер 500х300–400 м), находящиеся в бассейне р. Силова-Яха и относящиеся к арктической озерной области.

Качество природных вод определяется комплексом факторов, среди которых наиболее значимы геологические и климатические условия. В геологическом отношении район относится к силурийской системе палеозойской эры. Почвообразующими породами являются элюво-делювий коренных пород, торфяные коренные залежи. Район относится к субарктической климатической области, климат суровый, характеризуется морозной продолжительной зимой, коротким и прохладным летом. Средняя годовая температура воздуха составляет -6.3°C . Для всех элементов рельефа характерна заболоченность. Распространены озера различного происхождения с торфянистыми и минеральными берегами (ледниковые, пойменные и термокарстовые). Исследованные водные объекты по составу преобладающих ионов относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, характерному и для поверхностных вод континентальных восточноевропейских тундр. Активная реакция водной среды близка к нейтральной (рН 6.86–7.33). Содержание микроэлементов находится в пределах существенно более низких, чем их предельно допустимые концентрации. Органические вещества содержатся в небольшом количестве, что отражается в показателях цветности (7–53 град.), перманганатной окисляемости ($1.27\text{--}7.8\text{ мг/дм}^3$) и согласуется с результатами других исследователей. В рассматриваемых водных объектах концентрация $N_{\text{общ}}$ колеблется в пределах $0.08\text{--}0.88\text{ мг/дм}^3$, NH_4^+ – $0.018\text{--}0.44\text{ мг/дм}^3$, NO_3^- – $0.005\text{--}0.015\text{ мг/дм}^3$.

Выявлено относительно высокое видовое разнообразие водорослей. В планктоне и бентосе стоячих водоемов наибольшими показателями встречаемости характеризовались *Pediastrum boryanum* (Turpin) Menegh. (73 %), *Cosmarium granatum* Breb. var. *granatum* (54 %), *C. botrytis* Menegh. var. *botrytis* и *C. protractum* (Näg.) DeBary (по 50 %), с высокой частотой отмечены *Snowella lacustris* (Chodat) Komarek et Hindak и *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald (по 48 %), *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Breb. и *Cosmarium subtumidum* Nordst. (по 45 %), *Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Nägeli (по 43 %). В эпиплите рек и ручьев абсолютным доминантом является *Nostoc caeruleum* Lyngbye ex Bornet et Flahault, образующий макроколонию на камнях. Интересны находки редких видов в эпиплите: *Tolypothrix saviczii* Kossinskaja, *Nostoc pruniforme* Agardh ex Bornet et Flahault, *Stigonema mamilosum*

(Lyngb.) С. Agardh ex Bornet et Flahault, *Fischerella muscicola* (Thuret) Gomont. Из водорослей, занесенных в Красную книгу Республики Коми, отмечены: красная водоросль *Batrachospermum moniliforme* Sirodot (в эпилитоне ручья Безымянного), очень редкая харовая водоросль *Tolypella spicata* (R.D. Wood) R.D. Wood (оз. Хальмерто, вторая находка для Республики Коми), красная водоросль *Lemanea fluviatilis* (Linnaeus) С. Agardh (в эпилитоне реки Хальмерью и ручья Безымянного). Необходима охрана популяций этих видов. Из редких видов, занесенных во многие региональные Красные книги, можно отметить золотистую водоросль *Hydrurus foetidus* (Vauch.) Kirchn. (реки Силова-Яха, Хальмерью). На исследованной территории эта водоросль развивается в массе в каменистых ручьях, с очень чистой водой, угрозы исчезновения ее популяций на данном этапе в регионе нет.

«Цветение» воды отмечено в термокарстовых озерах (Тройное, Круглое, №№ 3-5), оно вызвано массовым развитием цианопрокариот *Anabaena flos-aquae* Brebisson, *A. flos-aquae* Brebisson ex Bornet et Flahault и *A. lemmermannii* Richter. Численность в исследованных озерах изменялась в пределах от 108 тыс. до 525 тыс. кл./л, биомасса от 0.011 до 0.25 мг/л, что соответствует слабой степени «цветения». Массовое развитие цианопрокариот типично для летнего планктона небольших хорошо прогреваемых термокарстовых озер Большеземельской тундры. Численность планктона в период «цветения» может достигать 1.5–20 млн кл./л, при этом цианопрокариоты формируют до 20–80 % биомассы, чаще всего их развитие происходит с середины июля до начала сентября (Патова, 2007). Наиболее требовательными к содержанию азота и фосфора являются β -мезосапробные виды *Anabaena flos-aquae* и *A. lemmermannii* которые чаще других видов вызывают «цветение» воды в озерах Большеземельской тундры.

По экологической приуроченности лидируют планктонно-бентосные виды, индифферентные по отношению к рН и солености. В соответствии со степенью сапробности, отмеченной для ведущих комплексов водорослей, исследованные водные объекты относятся к β -мезосапробной зоне, с водами II класса качества, что подтверждается и данными гидрохимического анализа. Указанные особенности водных объектов Большеземельской тундры характерны для водоемов с отсутствием или незначительной степенью антропогенного воздействия. Исследованные водные объекты являются типичными для данного района и отражают спектр водных экосистем Большеземельской тундры, по данным гидрохимического и альгологического анализа их можно охарактеризовать как чистые, не испытывающие заметного антропогенного воздействия, рекомендовать к включению в состав планируемой особо охраняемой природной территории Республики Коми как эталонные объекты тундровых пресноводных экосистем равнинных озер Большеземельской тундры.

Выполнено при поддержке: проекта ПРООН/ГЭФ 00059042 и проекта УрО РАН Фундаментальные исследования «Арктика» № 12-4-7-004-АРКТИКА.

Патова Е.Н. Цианопрокариотическое «цветение» водоемов восточноевропейских тундр (флористические и функциональные аспекты) // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 3. С.4–10.

Н.А. Тимофеева, Л.Е. Сигарева, В.В. Законнов
ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГОРЬКОВСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ХЛОРОФИЛЛУ

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия, timof@ibiw.yaroslavl.ru

N.A. Timofeeva, L.E. Sigareva, V.V. Zakonnov
ESTIMATION OF TROPHIC STATE OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE GORKY RESERVOIR USING
CHLOROPHYLL

I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, timof@ibiw.yaroslavl.ru

Растительные пигменты, занимающие приоритетное место в изучении водных экосистем, позволяют судить о масштабах первичного продуцирования, седимента-

ции органического вещества и его накоплении в донных отложениях. Для водных экосистем разного типа выявлены количественные взаимосвязи между содержанием хлорофилла *a* и продукционными характеристиками растительных сообществ пелагиали, бентали и обрастаний. Вертикальные профили концентраций растительных пигментов в кернах используют для воссоздания обилия фитопланктона в прошлом. В то же время вопросы, связанные с накоплением и характером распределения пигментов в бентали под воздействием комплекса абиотических и биотических факторов, остаются наименее изученными, хотя их решение необходимо для понимания взаимосвязей между продукционными характеристиками водной толщи и донных осадков. Цель работы – анализ современного трофического состояния донных отложений Горьковского водохранилища на основе изучения пространственного распределения осадочных пигментов.

Горьковское водохранилище (объем 8.7 км³, площадь 1591 км², коэффициент водообмена 6.1 год⁻¹) – четвертое в волжском каскаде, сложного долинного типа. Основная роль в создании первичного органического вещества в водохранилище принадлежит планктонным водорослям. Трофическое состояние экосистемы водохранилища по биомассе, содержанию хлорофилла *a* и первичной продукции фитопланктона варьирует от мезотрофного к эвтрофному (Минеева, 2009; Соловьева, Корнева, 2008). Территория ложа водохранилища, согласно грунтовой съемке 1999 г., занята трансформированными грунтами (20%), крупнозернистыми наносами (46%) и тонкодисперсными отложениями (34%). Средняя толщина донных осадков 12.4 см. Первая оценка трофии бентали была выполнена на основе изучения пространственного распределения осадочных пигментов в 1996–1998 и 2001 гг. (Сигарева, Тимофеева, 2001; Сигарева и др., 2010).

Грунтовая съемка выполнена в 2009–2010 гг. Пробы верхнего слоя (0–5 см) отложений отбирали на 193 станциях дночерпателем ДАК-250 в интервале глубин от 0 (урез воды) до 22 м. Растительные пигменты и характеристики грунтов (гранулометрический состав, естественная влажность, объемная масса, органическое вещество) определяли, как в работе (Сигарева и др., 2010).

Наблюдения показали, что общее органическое вещество распределено по площади дна очень неравномерно (коэффициент вариации $C_v = 80\%$). Его концентрация изменялась в пределах 0.5–32.3% и только в торфянистом иле достигала 65.1%. В донных отложениях на большинстве станций хлорофилл *a* находится в деградированном состоянии (феопигменты составляли 80–100%, $C_v = 16\%$). Относительная доля феопигментов не зависела от типа отложений и слабо коррелировала с глубиной станции ($r = 0.36$). Концентрации пигментов изменялись в широком диапазоне: хлорофилл *a* (Хл) – от 0 до 155.5 ($C_v = 155\%$), феопигменты (Ф) – от 0.1 до 175.8 ($C_v = 85\%$), их сумма (Хл+Ф) – от 0.4 до 187.6 мкг/г сухого грунта ($C_v = 85\%$). Удельное содержание Хл+Ф в органическом веществе грунтов составляло 0.01–2.61 мг/г. Содержание осадочных пигментов связано с гранулометрическим составом, водно-физическими и химическими характеристиками донных отложений ($r > 0.5$) и достигает максимальных значений в глинистом иле. Характер распределения пигментов по территории ложа водоема согласуется с распределением грунтов разного типа. Соотношение концентраций осадочных пигментов на русловых и пойменных станциях изменялось по участкам водоема (участок выклинивания подпора, переходный, предплотинный) в зависимости от скорости стоковых течений, волнения и других факторов седиментации тонкодисперсной взвеси.

Трофическое состояние отдельных типов донных отложений водохранилища, определяемое по средней концентрации Хл+Ф, согласно градации (Möller, Sharf, 1986), варьирует от олиготрофного (размытые почвы, песок) до мезотрофного (илистые пески и илы). Трофическое состояние всей бентали Горьковского водохранилища, оцененное с учетом соотношения площадей грунтов разного типа, характери-

зуется как мезотрофное. Сравнительный анализ показал, что уровень трофии бентали водохранилища к настоящему времени не изменился, но характеризуется более низкими концентрациями осадочного хлорофилла.

Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль: Принтхаус, 2009. 279 с.

Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. Изучение связи содержания растительных пигментов в донных отложениях с показателями трофического состояния Горьковского водохранилища // Водные ресурсы. 2001. № 6. С. 742–757.

Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А., Законнов В.В. Сравнительный анализ содержания растительных пигментов в донных отложениях Горьковского и Чебоксарского водохранилищ // Поволжский экологический журн. 2010. № 3. С. 313–322.

Соловьева В.В., Корнева Л.Г. Структура фитопланктона и качество воды Рыбинского и Горьковского водохранилищ // Актуальные проблемы экологии Ярославской области: Материалы Четвертой науч.-практич. конф. Вып. 4. Т. 1. Ярославль: Изд. ВВО РЭА, 2008. С. 208–212.

Möller W.A.A., Scharf B.W. The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication // Hydrobiologia. 1986. V. 143. P. 327–329.

И.С. Трифонова

ФИТОПЛАНКТОН В ДОЛГОСРОЧНОМ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ОЗЕР

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, itrifonova@mail.ru

I.S. Trifonova

PHYTOPLANKTON IN LONG-TERM MONITORING OF THE LAKES STATE

Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Russia, itrifonova@mail.ru

Многолетние наблюдения за состоянием озер являются основным источником информации об их эвтрофировании и таких явлениях как ацидификация, нефтяное и промышленное загрязнение. Они имеют большое значение для разработки методических основ мониторинга, т.к. играют роль природного эксперимента, необходимого для контроля и подтверждения экологических гипотез. При этом необходимо изучение фоновых характеристик природной среды, которые могут служить «точками отсчета» для оценки антропогенных изменений. В задачу долгосрочного мониторинга водоемов, согласно В.Д. Федорову (1975), входят: оценка современного состояния, слежение за эволюцией и прогноз изменений в результате антропогенного воздействия. Основой диагностического мониторинга водоемов является биоиндикация их состояния на базе изучения состава и продуктивности водных биоценозов. Роль отдельных сообществ в системе мониторинга различна. основополагающий компонент лимнологического мониторинга – определение трофического статуса озер, в котором роль фитопланктона наиболее важна, поскольку эвтрофирование – это, прежде всего, повышение первичной продукции в результате увеличения биогенной нагрузки на водоем. Показатели продуктивности фитопланктона положены в основу многочисленных шкал трофности, а их тесная корреляция с содержанием биогенных элементов используется в прогностических моделях изменения трофического статуса водоемов. Для оценки качества воды помимо продукционных показателей фитопланктона используются структурные показатели и индексы сапробности. Рамочной директивой ЕС фитопланктон принят как один из 4-х наиболее важных компонентов экологического мониторинга водоемов. Для оценки экологического статуса по фитопланктону рекомендованы такие параметры как видовой состав, численность видов, биомасса, а так же частота и интенсивность «цветения» воды.

Важный показатель состояния экосистемы – соотношение продукционно-деструкционных процессов, являющееся индикатором процесса самоочищения, определяющего качество воды. Кроме самих продукционных показателей фитопланктона и его структуры, индикатором тех или иных условий может быть тип сезонной динамики, который для устойчивых экосистем достаточно стабилен. Значение сезонных и многолетних природных наблюдений определяется тем, что необходимым

условием для выявления нарушений биотических процессов в водоеме под влиянием антропогенных факторов является знание диапазона естественной изменчивости биоценозов в сезонном и многолетнем аспектах, в том числе под влиянием погодных условий. Изменение типа сезонной динамики сообществ указывает на нарушение стабильности экосистемы или ее переход в другой трофический статус (Трифонова, 1990). В связи с сезонными колебаниями показателей продуктивности биологических сообществ наиболее надежными характеристиками состояния экосистемы являются средние за вегетационный период величины. Даже при сильных межгодовых колебаниях погодных условий, средние за сезон показатели остаются в пределах, характерных для данного трофического типа водоемов. При отсутствии сезонных наблюдений можно использовать данные за наиболее показательные периоды годового цикла, прежде всего, период летней стагнации. Один из классиков отечественной гидробиологии Г.И. Долгов (1976) считал, что правильную картину состояния водоема дают лишь исследования, выполненные при низкой водности. При оценке состояния водоема необходимо принимать во внимание и цикличность водного режима озера (фазу водности). Наши 50-тилетние исследования на мезотрофном оз. Красном (Карельский перешеек) показывают, что в маловодные годы усиливаются негативные процессы эвтрофирования – ухудшается кислородный режим, чаще отмечается «цветение» воды в летний период (Методические..., 1988; Многолетние изменения..., 2008).

Для биоиндикации имеет большое значение динамика отдельных популяций водорослей. Известно, что в стабильных сообществах сезонная сукцессия доминирующих видов повторяется год от года, различаясь лишь численностью популяций. Аномальная вспышка вида – индикатор нарушения стабильных условий в водоеме. Она не только является следствием этих нарушений, но и сама меняет среду, подготавливая условия для дальнейших изменений (Федоров, 1970). Но и по индикаторным организмам корректная оценка возможна только на основе многолетних наблюдений, когда известна амплитуда колебаний численности их популяций в водоеме. Известно, что увеличение численности синезеленых водорослей и центрических диатомей, особенно мелкоклеточных, является показателем эвтрофирования (Трифонова, 1990 и др.). Показателем эвтрофирования при массовом развитии, несомненно, является увеличение численности *Ceratium hirundinella*, прежде всего, в глубоководных эвтрофных и мезотрофных озерах. Ярким примером вида-индикатора является синезеленая водоросль *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom. и ее массовое развитие в урбанизированных водоемах, загрязняемых бытовыми стоками. Этот вид – биомаркер органического загрязнения (Трифонова, 1990).

Многолетние исследования на оз. Красном показывают, что хотя состав доминирующих видов фитопланктона и их сукцессия в значительной степени определяются трофическими условиями, в динамике численности популяций планктонных водорослей несомненна роль таких факторов, как водность (уровень и скорость водообмена) и термический режим (температура воды, стратификация). В оз. Красном аномальные вспышки численности *Aulacoseira islandica* отмечены в наиболее маловодные годы и свидетельствуют о нарушении стабильности экосистемы озера в условиях маловодной фазы водности, в которой, как было показано ранее (Методические..., 1988; Многолетние..., 2008), усиливаются процессы, связанные с эвтрофированием. Так в годы, предшествовавшие вспышкам *A. islandica* (1972 и 1999), летом отмечалось наиболее интенсивное «цветение» воды при массовом развитии синезеленых водорослей. В многоводные годы в весеннем планктоне преобладают мелкоклеточные виды, более приспособленные к условиям повышенной мутности и цветности воды, а летом крупные диатомеи и *Ceratium*.

Методические аспекты лимнологического мониторинга. Л.: Наука. 1988. С. 113-120.
Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования. СПб.: Лема. 2008. 260 с.
Трифонов И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. 1990. 184 с.
Федоров В.Д. Гидробиологический мониторинг: Обоснование и опыт организации // Гидробиол. журн. 1975. Т. 11. № 5. С. 5-12.
Федоров В.Д. Особенности организации биологических систем и гипотеза «вспышки» вида в сообществе // Вестн. МГУ. Сер. Биол. 1970. № 2. С. 71–81.

К.П. Хазанова

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ МОСКВЫ ВЫШЕ И НИЖЕ Г. МОСКВЫ
ПО СООБЩЕСТВУ БЕНТОСНЫХ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ**

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия, avilon.9@yandex.ru

K.P. Khazanova

**WATER QUALITY ASSESSMENT OF THE MOSKVA RIVER ABOVE AND BELOW MOSCOW CITY
USING THE COMMUNITY OF BENTHIC DIATOMS**

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, avilon.9@yandex.ru

Диатомовые водоросли, широко представленные в сообществах фитопланктона, фитоперифитона и фитобентоса, используются для оценки качества воды. Бентосные организмы оптимально использовать для оценки качества воды вблизи локальных источников загрязнения, поскольку донные сообщества характеризуются приуроченностью к конкретному местообитанию. Для практического применения и возможности проводить сравнительную оценку разработано несколько десятков так называемых диатомовых индексов, основанных на видовых различиях в толерантности диатомей к загрязнению. Кроме этого, для анализа применяются и индексы, основанные на анализе не только диатомовых водорослей, но и альгофлоры в целом.

По составу диатомового микрофитобентоса нами проведена оценка качества воды р. Москвы выше и ниже г. Москвы в летний период 2010–2013 гг. на двух створах (пос. Рублево и г. Дзержинский), выбор которых обусловлен существенными различиями условий. Выше города воды реки используются для питьевой обеспечения столицы. Техногенная нагрузка в верховьях реки сравнительно небольшая, однако водосборная площадь интенсивно используется для сельскохозяйственных нужд и животноводства. В черте и ниже города река принимает бытовые, промышленные и ливневые стоки, большая часть которых прошла соответствующую очистку на очистных сооружениях.

Сообщество бентосных диатомовых на ст. Рублево представлено в среднем 45–55 видами, состав которых существенно отличался от такового на других станциях, ранее исследованных нами в верховьях реки (Хазанова, 2011). По численности доминировали *Amphora pediculus* (Kütz.) Grun. ex Schm. (в среднем треть общей численности видов), комплекс *Navicula cincta* (Ehr.) Ralfs – *N. cari* Ehr., *Planothidium rostratum* (Oestr.) L.-B., *N. cryptotenella* L.-B. и *N. tripunctata* (O. Mull.) Bory.

Видовое разнообразие диатомовых на ст. Дзержинский было выше и составляло в среднем 79–85 видов. На станции была отмечена высокая численность *Fragilaria capucina* Desm. (до 13% общей), *P. lanceolatum* (Brÿb. ex Kütz.) L.-B. и *P. frequentissimum* (L.-B.) Round and Bukhtiyarova (в сумме до 18% общей), *Mayamaea agrestis* (Hust.) L.-B. Также ниже города увеличивался вклад в общую численность видов рода *Nitzschia*, являющихся индикаторами загрязненных вод (Wan Maznah, 2000). Постоянно присутствовали виды *N. palea* (Kütz.) W.Sm. (4.6%), *N. frustulum* (Kütz.) Grun. (2.8%), *N. capitellata* Hust. (1.7%), *N. amphibia* Grun. (до 1.5%), *N. recta* Hant. ex Rab., *N. dissipata* (Kütz.) Grun., *N. linearis* (C.Ag.) W.Sm. При этом на ст. Рублево отмечены лишь единичные находки *N. amphibia*, численность которой не превышала 0.7% общей.

Наибольший интерес для изучения адекватности оценки качества воды р. Москвы по сообществу бентосных диатомей представляет расчет индексов, что позволяет сравнивать численные значения. Нами было рассчитаны индекс Пантле-Букк в модификации Сладечека – S (Sladecsek, 1973) – наиболее широко используемый в России, а также два специализированных диатомовых индекса: DA_{pro} (Diatom Assemblage Index to organic water pollution: Watanabe et.al, 1986) и TDI (Trophic Diatom Index: Kelly, 1998).

Значения S составляли выше города в среднем 1.34–1.38, ниже города – 1.36–1.44, что соответствует условно-чистым водам (согласно РД 52.24.309-2011). Данный индекс обладает малой чувствительностью в разграничении вод по качеству, и даже различающиеся по характеристикам качества вод участки водных объектов могут быть отнесены к одному классу качества. Индекс Пантле-Букк неоднократно подвергался критике, но по-прежнему остается наиболее широко используемым в России. Значения DA_{pro} составляли в среднем 61–62 на ст. Рублево и 56–57 на ст. Дзержинский. Значения индекса DA_{pro} изменяются от 0 до 100, большим значениям соответствует лучшее качество воды, таким образом, индекс выявил ухудшение качества вод ниже черты города. Индекс TDI имеет два численных значения, одно из которых (собственно значение индекса) изменяется от 0 до 100 и отражает концентрацию биогенных элементов, а второе – доля таксонов, толерантных к органическому загрязнению, в зависимости от которой можно до известной степени определить вызвано ли эвтрофирование вод поступлением органического вещества. На ст. Рублево значения индекса TDI составляли в среднем 87–92, что свидетельствует об очень высоком содержании биогенных элементов, однако доля толерантных таксонов не превышала 6%. На ст. Дзержинский значения индекса были даже ниже – в среднем 75–87, но доля толерантных таксонов составляла от 26% до 31%, что свидетельствует о наличии небольшого органического загрязнения. Гидрохимические данные, полученные нами в 2012 г., в целом подтверждают оценку качества вод по индексу TDI. Так на ст. Рублево содержание общего азота составляло 1.4 мг/л, из которых на органический азот приходилось 0.6 мг/л. Ниже черты города содержание общего азота было почти в три раза выше и составляло 3.8 мг/л, но 3.3 мг/л приходилось на неорганические формы. Наиболее информативно содержание фосфора в воде. Выше города концентрация общего фосфора составляла 0.15 мг/л и практически целиком приходилась на фосфаты, тогда как ниже города концентрация общего фосфора составляла 3.37 мг/л, из которых 2.96 мг/л приходилось на органический фосфор. По литературным данным для естественных территорий отношение N/P составляет 1/15–1/30, на распаханых территориях – 1/4–1/8. Для ст. Рублево это отношение составляет 1/10 и соответствует тому, что водосборная площадь в верховьях реки используется в аграрных целях. Для ст. Дзержинский отношение N/P ~ 1/1.1, что не типично даже для подверженных антропогенной нагрузке систем и, вероятно, связано с воздействием на воды реки стоков мегаполиса.

Из проанализированных нами индексов DA_{pro} и TDI отражают ухудшение качества воды в реке после поступления стоков г. Москвы. Наиболее показателен для оценки качества воды и характера антропогенной нагрузки индекс TDI, который позволяет разграничить эвтрофирование вод, вызванное поступлением биогенных элементов преимущественно в неорганической форме, от органического загрязнения.

Хазанова К.П. Диатомовый микрофитобентос реки Москвы // Матер. IV Всерос. конф. по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». Ч. 2. Борок, 2011. С. 90–93.

Kelly M.G. Use of the Trophic Diatom Index To Monitor Eutrophication in Rivers // Water Research. 1998. 32 (1). P. 236–242.

Sladecsek V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. 1973. N 7. P. 1–218.

Wan Maznah W. O., Mansor M. Periphytic algal composition in Pinang River Basin, a case study on one of the most polluted rivers in Malaysia // J. of Bioscience. 2000. V. 11. P. 53–67.
Watanabe T., Asai K., Houki A. Numerical water quality monitoring of organic pollution using diatom assemblages in flowing waters // Kansai Shizenhogokyoikai. 1986. N 13. P. 31–48.

Ю.А. Ходыкина, Н.А. Старцева
ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА ВОДОЕМА СТАРИЧНОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ
УРБАНИЗИРОВАННОГО ЛАНДШАФТА (Г. НИЖНИЙ НОВГОРОД)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия,
xodykina.yuliya@mail.ru

J.A. Khodykina, N.A. Startseva
PHYTOPLANKTON DYNAMICS IN OXBOW WATER BODY IN URBANIC LANDSCAPE CONDITIONS
(NYZHNY NOVGOROD CITY)

N.I. Lobachevsky Nizhny Novgorod State University, Nyzhny Novgorod, Russia, xodykina.yuliya@mail.ru

Изучение альгофлоры озер является одной из основных задач при проведении мониторинга водоемов. Состав фитопланктона и его структурные характеристики служат интегральным показателем совокупного воздействия факторов, характеризующих состояние водного объекта в целом, уровень трофии и степень загрязненности вод. Цель нашей работы – изучение фитопланктона оз. Мещерское, расположенного в Канавинском районе г. Н. Новгород. Озеро образовалось из старицы р. Волги путем заноса песчано-илистыми отложениями концевых участков проток, отчленившихся от основного русла (Экологический..., 1997). Оно подвержено высокой антропогенной нагрузке, обусловленной высокой плотностью населения района и влиянием близко расположенных автодорог. Питание озера в основном осуществляется за счет поверхностного стока. Воды озера относятся к гидрокарбонатной кальциевой группе I типа. Среднее за вегетационный период содержание фосфора – 108 мкг/л. Приоритетными загрязняющими веществами являются железо, цинк, медь, марганец, нефтепродукты. По уровню загрязнения, оцененному принятым в системе Гидрометеослужбы показателем ИЗВ (индекс загрязнения воды, основанный на концентрации пяти приоритетных загрязняющих веществ), вода озера относится к III классу качества – «умеренно загрязненная». Материалом работы послужили 56 проб фитопланктона, отобранные в 1999 и 2008 гг.

Таксономическое разнообразие фитопланктона оз. Мещерское по результатам исследований 1997 и 1999 гг. насчитывает 317 таксонов рангом ниже рода. В 2008 г. флора водорослей содержала 86 видовых и внутривидовых таксонов, относящихся к 43 родам, 16 порядкам и 8 отделам. Отдел Chlorophyta представлен 44 таксонами, Chrysophyta – 13, Cyanophyta – 11, Cryptophyta – 3, Dinophyta – 5 и Xanthophyta – 1. В видовом списке преобладали представители порядков Chlorococcales (41% общего числа видов) и Chromulinales (12%). В родах *Scenedesmus* и *Oocystis* по данным 2008 г. насчитывалось наибольшее число видовых и внутривидовых таксонов. Доминирующими видами, создававшими более 10% численности или биомассы фитопланктона, были *Chroomonas acuta* Uterm., *Cryptomonas marssonii* Skuja (Cryptophyta), *Dinobryon divergens* Imhof., *Chrysococcus biporus* Skuja (Chrysophyta), *Oocystis borgei* Snow, *O. lacustris* Chod. (Chlorophyta). Значимое место по вкладу в общую биомассу занимали *Sphaerocystis planctonica* (Korsch.) Bourr., *Coelastrum microporum* Näg. (Chlorophyta), *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Anabaena* sp. (Cyanophyta). В 1999 г. в планктоне преобладали β-мезосапробы, обитающие в к эвтрофируемых загрязненных водах (*Ceratium hirundinella* O.F. Müll., *Peridinium cinctum*, *Peridiniopsis quadridens* (Stein) Bourr., *P. elpatiewskyi* (Østenf.) Bourr., виды рода *Anabaena* и *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., и виды рода *Aulacoseira*.

По количественному развитию фитопланктона оз. Мещерское в 1999 г. относилось к мезотрофно-эвтрофным водоемам (средневегетационная биомасса составила 4.02 ± 0.96 г/м³). В 2008 г. ее величина составила 1.62 ± 0.20 г/м³, что характери-

зовало водоем как слабо мезотрофный. Основной особенностью сезонной сукцессии фитопланктона в 2008 г. явилось незначительное развитие водорослей летом ($2.43 \pm 0.63 \text{ г/м}^3$). Для летнего фитопланктона в 1999 г. характерно преобладание крупноклеточных динофитовых (их максимальная биомасса достигала 16.6 г/м^3), а также диатомовых водорослей (*Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, виды рода *Aulacoseira*). В 2008 г. летом в планктоне преобладали мелкоклеточные цианобактерии (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides*, *A. hassalii*), численность которых достигала 7.5 млн кл./л., и зеленые хлорококковые водоросли (*Sphaerocystis planctonica*, *Coenochloris fotti* (Hind.) Tzar). Отмечено почти полное исчезновение из планктона диатомовых водорослей. Единичные экземпляры пеннатных диатомей иногда имели признаки тератогенных изменений. На протяжении всего вегетационного периода в пробах присутствовали мелкоклеточные водоросли *Chroomonas acuta*, встречаемость которого составила 95%. Кроме того, весной и осенью спорадически присутствовали виды рода *Cryptomonas* (38–41%), ранее не отмечавшиеся в планктоне водоема. Зеленые водоросли также встречались весь вегетационный период и составляли значительную часть биомассы (до 4 г/м^3). Максимальная численность отмечена в летне-осенний период и достигала 5.5 млн кл./л., тогда как в предыдущие годы представители Chlorophyta играли незначительную роль в формировании общей численности и биомассы в течение вегетационного периода (Старцева, Охупкин, 2003).

По результатам сапробиологического анализа средневегетационные индексы сапробности, вычисленные по численности и биомассе водорослей, в оба года исследований изменялись от 1.88 до 2.18 (β -мезосапробная зона). Это позволило отнести оз. Мещерское к III классу качества вод – «воды умеренно загрязненные», а его экологическое состояние оценить как «относительно удовлетворительное». Однако следует отметить существенные перестройки, произошедшие в альгоценозе озера, которые могут быть связаны с усилением антропогенной нагрузки на экосистему водоема. Причиной снижения таксономического разнообразия и общей биомассы фитопланктона, смены руководящих видов водорослей и появления в планктоне криптофитовых фитофлагеллят, способных к миксотрофному питанию (Корнева, 2008), может быть начатое в 2007 г. строительство жилого микрорайона в непосредственной близости от водоема.

Корнева Л. Г. Фитопланктон как показатель кислотных условий в небольших лесных озерах // Структура и функционирование экосистемы кислотных озер. СПб.: Наука, 1994. С. 65–98.

Корнева Л.Г. Влияние строительства водохранилищ и климата на фитопланктон крупных равнинных рек // Современные проблемы альгологии: Матер. международ. конф. Ростов-на Дону, 2008. С. 199–200.

Старцева Н.А., Охупкин А.Г. Состав и структура фитопланктона некоторых пойменных озер культурного ландшафта (на примере г. Нижнего Новгорода) // Биология внутренних вод. 2003. №4. С. 35–42. Экологический паспорт городского водоема. Озеро Мещерское. Нижний Новгород: Нижегород. ун-т, 1997. 47 с.

B. Zarei Darki

ESTIMATION OF WATER QUALITY IN ZAYANDEHRUD RESERVOIR (IRAN) BY MEANS OF THE INDICATOR ALGAE SPECIES

Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
zareid@mail.ru & zareidarki@modares.ac.ir

Zayandehrud Reservoir located at a height of about 1950 m above sea level in the Zagros Mountains in the Esfahan-Sirjan Basin ($50^{\circ}15' - 50^{\circ}45' \text{ N}$; $32^{\circ}30' - 33^{\circ}00' \text{ E}$) is important strategic water object of the Central Iran as a source of pure water for ostan (administrative provinces) such as Esfahan, Yazd, Chaharmahal va Bakhtiyari, Kerman and Qom (Taghi, 2008). Biological monitoring in water body is priority task during the

observation of its ecological state since it heightens appreciably the reliability of ecological forecast (Afanasyeva et al., 2008).

In algological aspect, Zayandehrud Reservoir is investigated enough but it has a short history of study. For the first time, algal flora of this reservoir was examined by the author in 2000 (Zarei Darki, 2001) and 2002 (Zarei Darki, 2004). The single samples were taken in which 174 species and intraspecific taxa were found. Then records of the reservoir were presented in report of Shams and Afsharzadeh (2007, 2008). Here, the authors led species composition of planktonic microalgae including 112 species and intraspecific taxa on the basis of the annual investigations which held from September 2005 to August 2006. According to these studies, later, paper also was published (Shams & Afsharzadeh, 2012).

During carrying out of the investigation, average depth of reservoir ranged 20-30 m and maximum depth – 73 m but these values vary constantly. Fluctuations of a water level are concerned with: periodical-temporary water-flows (melt water); amount of rainfall; evaporation of water in the dry season and impact of the human factor. Samples were collected from January 2011 to October 2012 in the middle of month of each season. In the mid-points of transects, samples were taken from several water level – at surface, 5, 7, and 10 m. A total of 152 phytoplankton samples were selected. Qualitative samples were taken by planktonic net filtering 100 liters of reservoir water; quantitative samples were carried out by the Ruttner bathometer. The water temperature, transparency, conductivity, dissolved oxygen, pH were measured at all sites. Frustules and valve structure of diatoms were investigated using scanning electronic microscopes. Before microscoping, diatoms were processed for the purpose of deleting of the organic contents of the cell by warm methods of diatom analysis (Proshkina-Lavrenko, 1974; Lange-Bertalot, 2001).

The environmental and sanitary state of the reservoir was assessed by using indicator species and calculating saprobic index values by the by Zelinka and Marvan (1966) modified by author (Zarei Darki, 2013). The quality of water for oligosaprobic, mesosaprobic, and polysaprobic levels and the entire biocenosis was also calculated by their formulas.

A total of 117 infraspecific taxa of 8 divisions were recorded in the course of this study in the Zayandehrud Reservoir. Diatoms were represented by the greatest number of taxa, making up 42% of the total checklist; the second and third positions were occupied by green algae and streptophytes, making up 23% and 10% of the checklist, respectively. The proportions of blue-green algae were insignificant about 8% that already points to a low degree of eutrophication in the reservoir. The most abundant algal species of the Zayandehrud Reservoir are geographically widespread, in most cases cosmopolitan: *Cyclotella ocellata* Pantocsek, *Asterionella formosa* Hassall, *Fragilaria crotonensis* Kitton, *Dinobryon divergens* Imhof, *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin, *Peridiniopsis penardiforme* (Lindemann) Bourrelly, *Pandorina morum* (O. Müll.) Bory, *Scenedesmus sacuminatus* (Lagerh.), *Cosmarium botrytis* Menegh., *Tribonema minus* Hazen, *Tribonema viride* Pasch., and other. Of the total number of recorded algal species, varieties, and forms, 65% are indicators of organic pollution. These species, which belong to five main and ten intermediate groups of saprobionts reflect the wide range of saprobity: from oligo- to polysaprobic levels. Taxonomically the maximal number of indicators belongs to Bacillariophyta: 35 species or 46 % of indicators found in algal flora of reservoir. At that diatoms are most rich in oligosaprobic forms (10 species). Division Chlorophyta is based on β -mesosaprobic forms (14 species) that are presented in the summery samples when water quality becomes a bit worse.

Based on the results obtained from algal bio-indicators, water quality belonged to class II in the winter that is less polluted than in other seasons. In the autumn, water quality was seen at majority of stations in the β -mesosaprobic zone. Only on the right bank of transect 3, class IV was observed in this season. In the summer, algal bio-indicators on

the left bank of transect 3 showed class IV both in the pelagic and benthic zones. Water quality in the Left and right bank of transect 2 was of class III in same season. It seems that the arrival of campers around reservoir in the summer cause imbalance of ecological parameters. Comparing obtained saprobic indexes about water quality with physicochemical parameters, revealed bio-indicators can recommend for a quick adequate assessment of water quality in this reservoir.

Afanasyeva A.L., Belyakov V.P., Bardinski D.S., *et al.* Long-term changes of biological communities in a mesotrophic lake in conditions of climatic fluctuations and eutrophication. Publish House Lema, 2008. 246 pp. (in Russian).

Lange-Bertalot H. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Naviculasensu stricto. 10 Genera Separated from Naviculasensu lato. Frustulia. A.R.G. Gantner Verlag K.G, Ruggell, 2001. 526 pp.

Moenian T. Natural view of Zayandehrud River. Esfahan: University Press. 2008. 315 P. (in Persian)

Proshkina-Lavrenko A.I. (eds.). Diatoms of the USSR: Fossil and Recent. Leningrad: Nauka, 1974. V. 1, Issue 1. 403 p. (In Russian).

Shams M., Afsharzadeh S. Taxonomic study of diatoms in Zayandeh Rood Lake // Rostaniha, 2007. V. 8, №2. P.160-175 (in Persian).

Shams M., Afsharzadeh S. Study of Chlorophyta in Zayandeh Rood Dam Lake // Majaleh Pazhuheshi Daneshgah Esfahan, 2008. V. 31, № 2. P. 47–56. (in Persian).

Shams M., Afsharzadeh S., Atic, T. Seasonal variations in phytoplankton communities in Zayandeh-Rood Dam Lake (Isfahan, Iran) // Turk J. Bot., 2012. V.36. P. 715–726.

Zarei Darki B. The first data on algae of continental reservoirs of Iran // Mat. XI Congr. Ukr. Bot. Soc. Kharkiv, 2001. P. 35–36.

Zarei Darki B. Algae of water bodies of Iran // Abstr. Dr. Sci. (Biol.) Thesis. Kiev, 2004. 20 P.

Zarei Darki B., Zarei Darki L., Akkafi H. R., Mirzai M. Taxonomic composition of algae and its indicator role in the ecosystem of the Zayandehrud River, Iran // Inland Water Biology. 2013. V. 6, № 4. P. 285–293.

Zelinka M., Marvan P. Bemerkungen zu neuen methoden der saprobiologischen Wasser beurteilung // Limnology. 1966. V. 16. P. 817–832.

Фомина Н.В.	169	Чепиного В.В.	98	Шершнева А.В.	186
Хазанова К.П.	243	Черникова Г.Г.	211	Шнар В.Н.	182,184
Халиуллина Л.Ю.	202	Чернова Е.Н.	41	Шохрина В.В.	17
Ходыкина Ю.А.	245	Чижевская М.В.	169	Щербаков Д.Ю.	19,26
Храмченкова О.М.	31	Шавырина О.Б.	46	Ярушина М.И.	115
Худякова А.В.	29	Шадрин Д.М.	21	Ясакова О.Н.	203
Цветкова В.С.	112	Шарипова М.Ю.	113		
Чемерис Е.В.	96	Шашуловская Е.А.	223		

List of authors

	Page		Page		Page
Abdullaeva K.M.	118	Gapochka M.G.	46	Makarenkova N.N.	157
Abdullin Sh.R.	5,29,43,100,119	Gasanova A.Sh.	136	Makarov M.V.	213
Afanacueva A.L.	207	Gayazova A.O.	138	Makeeva E.G.	76
Afanasyev D.F.	119	Gaysina L.A.	45	Malavenda S.V.	160
Akhmedyanov D.I.	29	Genkal S.I.	13,14,36	Maltsev Ye.I.	78
Andreeva S.A.	7,19	Gerb M.A.	48	Maltseva I.A.	162
Anissimova O.V.	8	Glushchenko L.A.	50	Martemyanov V.I.	80
Annenkova N.V.	7,19,28	Gololobova M.A.	15	Martyanov O.V.	120
Azovskii M.G.	98	Gontcharov A.A.	17,23,95	Maximova O. B.	158
Babanazarova O.V.	120,186	Gontcharov A.V.	118	Mazina S.E.	155
Bachura Y.M.	31	Gorbunov M.Yu.	140,216	Metleva N.Yu.	163,218
Bagautdunova Z.Z.	172	Gorokhova O.G.	52	Milyutina I.A.	10
Bagmet V.B.	29	Grishutkin O.G.	84	Mincheva E.V.	19,26
Bakaeva E.N.	211	Grubinko V.V.	126,131	Mineeva N.M.	165
Bataeva Y.V.	122	Gusev E.S.	7,19,53,74	Mitrofanova E.Yu.	82,108,148
Bazarova B.B.	98	Guseynov K.M.	136	Mitropolskaya I.V.	167,218
Bazhenova O.P.	209	Ignatova N.A.	211	Mosharov S.A.	177
Belevich T.A.	10,145	Ilyash L.V.	10,145	Mosiyash S.A.	223
Blagodatnova A.G.	123	Izboldina L.A.	19	Nazarova T.A.	29
Bodnar O.I.	126,131	Jakobsen H.H.	231	Nehrulia D.N.	78
Boldina O.N.	12	Karpov S.A.	62	Nejstgaard J.C.	231
Bondarenko N.A.	127	Khaliullina L.Y.	202	Nekhodimova S.L.	169
Bugranova O.S.	129	Khazanova K.P.	243	Neretina A.N.	84
Bukin Yu.S.	19,26	Khodykina J.A.	245	Nikulina V.N.	225
Bulgakov N.G.	222	Khramchenkova O.M.	31	Okhapkin A.G.	133,236
Burkova T.N.	194	Khudyakova A.V.	29	Ovseenko A.S.	120
Bykova S.N.	33	Kim G.V.	64	Palagushkina O.V.	198
Cadeliņa P.L.P.	205	Kirilova T.V.	148	Patova A.D.	21
Camoying M.G.	84,206	Komissarov A.B.	65,67	Patova E.N.	21,238
Chemerys E.V.	96	Komulaynen S.F.	68	Pavlova O.A.	86
Chepinoga V.V.	98	Konovalov M.S.	60	Peretolchina T.E.	19
Chernikova G.G.	211	Kopyrina L.I.	90	Pinsky D.L.	26
Chernova E.N.	41	Korneva L.G.	65,70,179, 188,222,234	Pivovarova J. F.	172
Chizhevskaya M.V.	169			Pligin D.N.	186
Dalechina I.N.	223	Korovkina K.P.	120	Podgorniy K.A.	56
Davydov D.A.	54	Kotovshchikov A.V.	146,148	Ponomareva Y.A.	226
Denisov D.B.	141	Krakhmalnyi A.F.	71	Protopopova E.V.	227
Devyatkin V.G.	218	Krasnova E.S.	197,216	Pshennikova E.V.	88,90
Dmitrieva O.A.	56	Kravtsova L.S.	19	Pugovkin D.V.	213
Dorofeuk N.I.	36	Krivina E.S.	150,216	Pylyna Y.I.	21
Dubovik I.E.	113	Kuderskiy S.K.	182,184	Pyrina I.L.	173
Dzhayani E.A.	223	Kuklin A.P.	98	Radchenko I.G.	145
Egorova I.N.	21,58,60	Kulikovskiy M.S.	7,19,36,73	Razumovskiy L.V.	93
Eremkina T.V.	143	Kulizin P.V.	74	Razumovskiy V.L.	229
Ezhova E.E.	80	Kurbatova S.A.	152	Risnik D.V.	222
Fazlutdinova A.I.	110	Kutuzova V.Yu.	186	Romanov R.E.	23,95,96,98
Filippov A.S.	200	Kuznetsova D.A.	73	Romanova N.D.	177
Fomina N.V.	169	Lange E.K.	220	Rusanov A.G.	175
Gabyshev V.A.	134	Lapteva N.A.	152	Russkikh Ya.V.	41
Gaevsky N.A.	214	Levich A.P.	222	Ryabova A.S.	100
Gainutdinov I.A.	43	Luknitskaya A.F.	75	Ryzhik I.V.	24,213
Gapochka L.D.	46	Lyashenko O.A.	154	Sabirov R.M.	202

Safonova S.M.	196	Stenina A.S.	104	Voskoboinikov G.M.	39,213
Sakharova E.G.	70,179	Stepanova O.A.	106	Voyakina E.Yu.	41
Sazhin A.F.	177,231	Sterlyagova I.N.	192	Yarushina M.I.	115
Schadrin D.M.	21	Suhanova N.V.	110	Yasakova O.N.	203
Selivanova O.N.	102	Sutchenkova O.S.	108	Yershov I.Yu.	152
Semenova L.A.	181	Sysova E.A.	193	Yciguez A.T.	205,206
Semionova S.N.	182,184	Tarasova N.G.	194,198,216	Zakonov V.V.	239
Sereda M.M.	119	Tcvetkova V.S.	112	Zarei Darki B.	246
Sergeeva V.M.	177,231	Temraleeva A.D.	19,26	Zarubina A.P.	46
Seryakov S.A.	67	Tikusheva L.N.	238	Zelenevskaya N.A.	219
Seskova D.V.	119	Timofeeva N.A.	232,239	Zhakovskaya Z.A.	41
Sharipova M.Yu.	113	Timoshkin O.A.	127	Zhigadlova G.G.	102
Shashulovskaya E.A.	223	Titova L.A.	196	Zhitina L.S.	145
Shavyrina O.B.	46	Trifonova I.S.	207,241	Zubishina A.A.	186,188
Sherbakov D.Yu.	19,26	Umanskaya M.V.	197, 216		
Shershneva A.V.	186	Unkovskaya E.N.	198		
Shnar V.N.	182,184	Usoltzeva M.V.	196		
Shohrina V.V.	17	Vainovskii P.A.	218		
Sidelev S.I.	120,186,188	Vilnet A.A.	24		
Sigareva L.E.	232,239	Viniarska H.B.	126,131		
Solonenko E.V.	214	Vishnyakov V.S.	34,36,96,98		
Solovyeva V.V.	70,188,234	Vodeneeva E.L.	133,236		
Stanislavchuk A.V.	126,131	Volkova E.A.	127		
Stanislavskaya E.V.	190	Volodina A.A.	48		
Startseva N.A.	133,236,245	Voloshko L.N.	37		

ВОДОРΟΣЛИ: ПРОБЛЕМЫ ТАКСОНОМИИ, ЭКОЛОГИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОНИТОРИНГЕ

**Материалы докладов
III Международной научной конференции
24 – 29 августа 2014 г.**

Подписано в печать 01.08.2014. Формат 60x90 1/8.
Усл.печ.л. 31,5. Заказ № 1019. Тираж 200 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Филигрань»
150049, г. Ярославль, ул. Свободы, 91,
(4852) 98-27-05,
pechataet@bk.ru