

УДК 574.587:57.043

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВЕСЕННЕГО ФИТОПЛАНКТОНА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ В ЗОНЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2016 г. К.А. Кузьмина<sup>1</sup>, М.В. Медянкина<sup>1</sup>, Е.С. Кривина<sup>2</sup>,  
Т.Н. Буркова<sup>2</sup>, Н.Г. Тарасова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук», г. Тольятти, Россия

**Ключевые слова:** Куйбышевское водохранилище, нерудные строительные материалы, водные биоресурсы, фитопланктон, биомасса, комплекс доминирующих видов, видовое разнообразие, сапробиологический анализ, качество воды.

Представлены результаты анализа количественных показателей развития весеннего фитопланктона Куйбышевского водохранилища в зоне влияния трех разрабатываемых месторождений нерудных строительных материалов – Краснотаринское, Свяжские острова, Бахчи-Сарай. По результатам исследования определен текущий трофический статус водоема, интенсивность цветения и класс качества воды. В соответствии с общепринятыми методами исследован уровень общего видового разнообразия на каждом из участков водохранилища, оценена степень экологической устойчивости системы.

В период исследования отмечены достаточно высокие показатели количественного развития фитопланктона. Основной вклад в формирование численности фитопланктона внесли синезеленые водоросли, биомассы – крупноклеточные диатомовые. Несмотря на высокие значения показателей видового разнообразия, структура альгологического сообщества в зоне месторождений нерудных строительных материалов оценена как нестабильная, находящаяся в состоянии экологического дисбаланса. Значения средних индексов сапробиности по численности и биомассе позволили охарактеризовать водоем на каждом из участков как β-мезосапробный, умеренно загрязненный с III классом качества вод.

Поскольку добыча нерудных строительных материалов отрицательно сказывается на экологическом состоянии Куйбышевского водохранилища, необходимо продолжить мониторинг фитопланктона данной зоны с целью последующей оценки экологического ущерба и разработки комплекса мероприятий по восстановлению экосистемы водного объекта, установке очистных сооружений соответствующей мощности.

Куйбышевское водохранилище является частью Волжско-Камского каскада. Это среднее по возрасту среди волжских водохранилищ было образовано в 1955–1957 гг. после завершения строительства плотины Жигулевской ГЭС. Акватория Куйбышевского водохранилища относится к бассейну Средней Волги [1].

Куйбышевское водохранилище – важный климатообразующий компонент ландшафта, имеет большую эстетическую и рекреационную значимость. Исследование Куйбышевского водохранилища началось с момента его заполнения и с тех пор выполняется многими организациями с разной степенью периодичности. В настоящее время изучение экосистемы Куйбышевского водохранилища не утратило актуальности, т. к. водоем используется не только для выработки электроэнергии, судоходства, водоснабжения, ирригации, но и для рыболовства. Кроме того, для г. Тольятти и ряда населенных пунктов это еще и дополнительный источник водоснабжения [1–6].

На состояние экосистемы Куйбышевского водохранилища большое влияние оказывает хозяйственная деятельность человека. Одним из основных ее видов является добыча нерудных строительных материалов (НСМ), в результате которой происходит химическое и механическое загрязнение воды, нарушение естественной среды обитания гидробионтов [2, 4]. На территории Куйбышевского водохранилища наиболее значимыми являются три месторождения НСМ: Краснозаринское месторождение, Свяжские острова и Бахчи-Сарай.

В последние годы биоиндикация становится одним из популярных способов диагностики состояния экосистем. Фитопланктон – чуткий индикатор состояния водной среды, поэтому изучение качественного состава и показателей количественного развития сообществ водорослей является эффективным методом диагностики состояния водных объектов [1, 7, 8].

Цель работы – анализ состояния экосистемы Куйбышевского водохранилища в зоне добычи нерудных строительных материалов на основе изучения показателей количественного развития фитопланктона, состава комплекса доминирующих видов и оценки качества воды путем расчета сапробиологических индексов.

### **ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В исследовании представлены материалы, полученные в результате изучения весеннего фитопланктона Куйбышевского водохранилища в зоне месторождений нерудных строительных материалов. Пробы отбирали в мае 2015 г. в составе комплексной экспедиции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ ВНИРО) на близлежащих территориях трех месторождений

нерудных строительных материалов: Краснозаринское, Свяжские острова, Бахчи-Сарай.

Месторождение Бахчи-Сарай расположено в Верхнеуслонском муниципальном районе Республики Татарстан, в интервалах 1322,0–1323,2; 1325,0–1328,0 км судового хода. Состоит из двух блоков: блок С1-I шириной 271, длиной 2161 м простирается узкой полосой вдоль пос. Ключищи; блок С1-II шириной 401, длиной 5267 м – вдоль пос. Матюшино. Средняя ширина р. Волги в районе месторождения Бахчи-Сарай 5581 м, глубина на участке 1,5–20,2 м, грунт песчаный. Глубина на участках непосредственной добычи песка от 4 до 16 м. Блок С1-I располагается на Верхнеуслонском и Шеланговском рыбопромысловых участках, блок С1-II – на Шеланговском участке.

Месторождение Свяжские острова расположено в правой части русла р. Волги, в интервале судового хода 1283,9–1285,9 км в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан, простирается узкой полосой вдоль о. Большой, ширина от 160 м до 258 м, длина 3552 м. Напротив месторождения на левом берегу р. Волги находится пгт Васильево. Средняя ширина участка водоема в районе месторождения строительного песка Свяжские острова от пгт Васильево до о. Большой 8–9 км. Глубина на участке месторождения около от 4 до 22,7 м, грунт песчаный, местами заиленные пески.

Месторождение Краснозаринское расположено вблизи г. Волжска (1266,5–1268,0 км левого берега р. Волги), общая площадь участка 0,60 км<sup>2</sup>. Ширина реки в районе месторождения 2720, глубина 1,0–12,0 м, грунт песчаный, местами илистый. Глубина в местах непосредственной добычи песка от 4 до 12 м [2, 4].

Станции для отбора проб намечали согласно гидрологическим особенностям исследуемых участков с использованием программного комплекса ArcGIS и GPS-навигатора Garmin. Расположение станций отражено на рис. 1. Пробы фитопланктона отбирали с поверхностного горизонта.

Изучение фитопланктона Куйбышевского водохранилища проводили по стандартным гидробиологическим методикам [1, 9, 10]. Пробы фитопланктона отбирали батометром Рутнера, объем 2 л. Материал фиксировали раствором формалина. Концентрацию обеспечивали методом фильтрации 0,5 л через мембранный фильтр с диаметром пор 1 мкм с использованием насоса Комовского. Концентрат пробы приводили к объему 10 мл. Для количественного подсчета водорослей использовали камеру Учинской объемом 0,01 мл. Для большей достоверности учета клеток просчитывали по 10 полос в двух повторах. Подсчет организмов вели под микроскопом «Биолар» при увеличении в 600 раз.

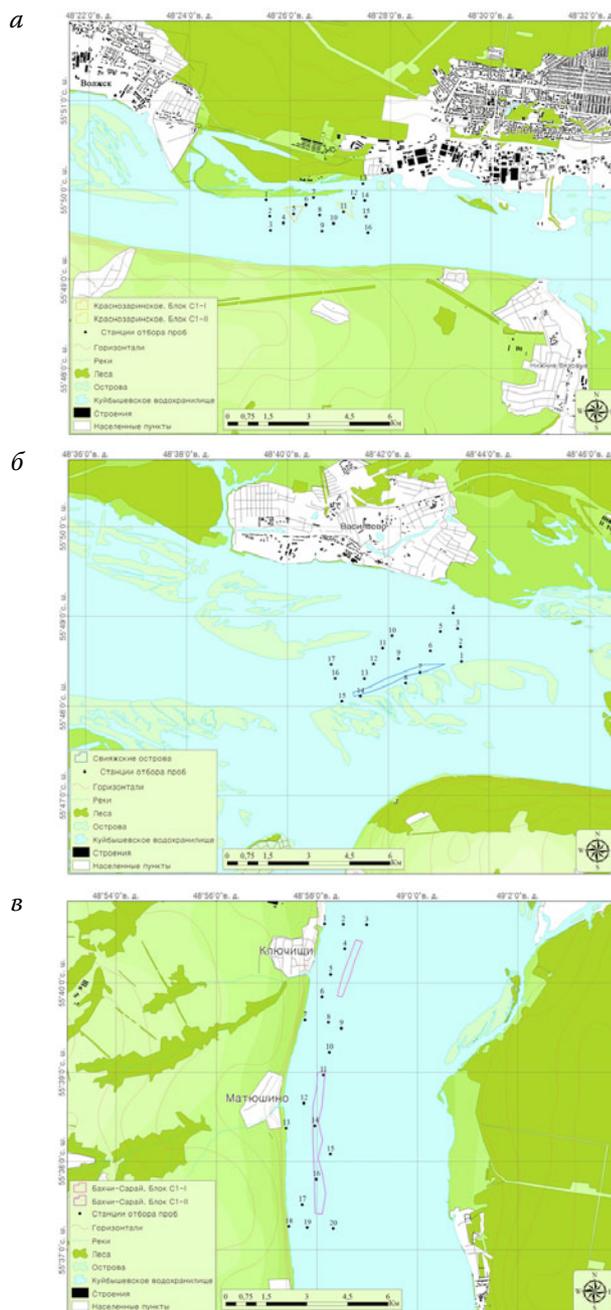


Рис. 1. Станции отбора проб на месторождении: а – Краснозари́нское, б – Бахчи-Сарай, в – Свяжские острова.

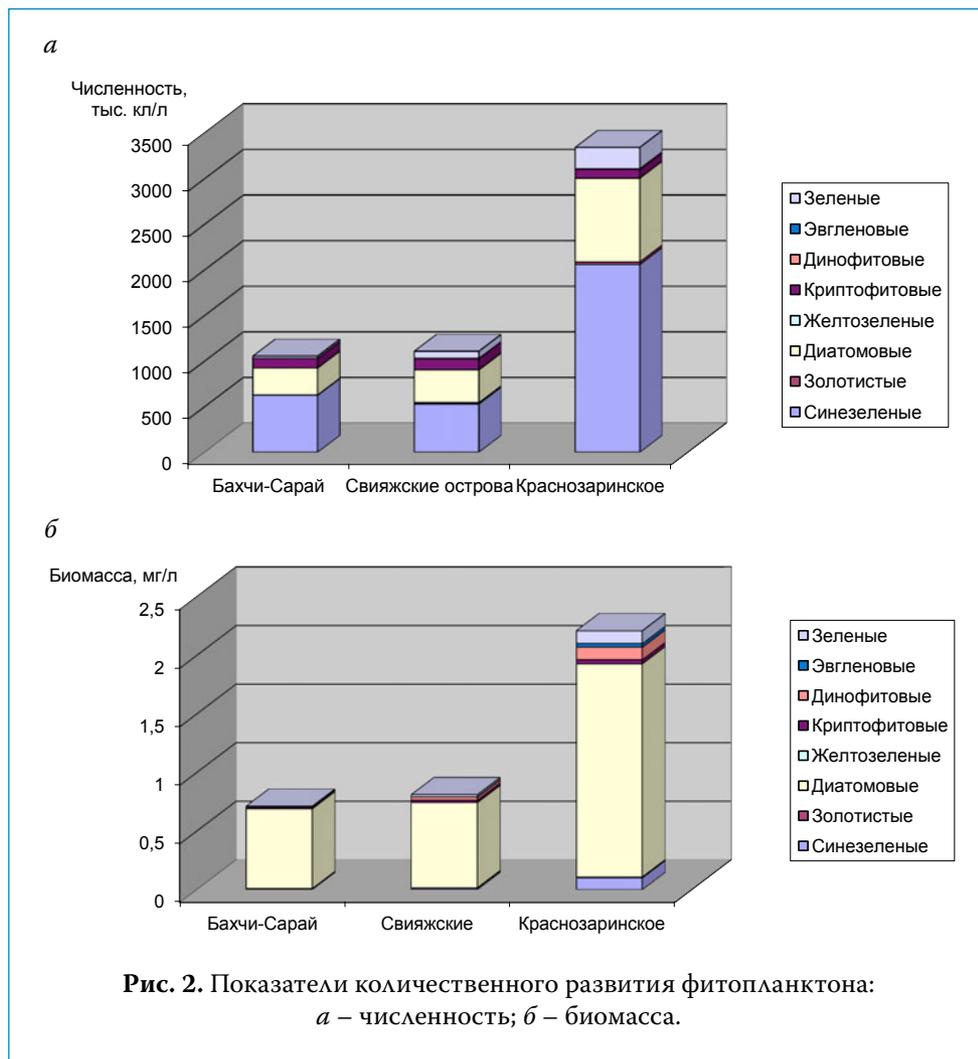
Помимо численности определяли биомассу фитопланктона методом приведенных геометрических фигур, разработанным Г.В. Кузьминым [9]. Форму клетки каждой водоросли приводили к определенной геометрической фигуре, вычисляли ее объем и определяли биомассу в мг/л.

В качестве критериев разнообразия и выравненности сообществ фитопланктона использовали информационные индексы Шеннона и Пиелу, рассчитанные по численности и биомассе [1, 10, 11]. К доминирующим видам относили те, численность и биомасса которых составляла 10 и более % от общего значения [1, 8].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень развития фитопланктона в любом водоеме определяется сочетанием различных факторов среды (свет, температура, гидрохимический режим, морфометрические характеристики водоема, содержание биогенных элементов) [8, 9, 12, 13]. Показатели количественного развития фитопланктона в период исследований были достаточно высоки (рис. 2).

Значения численности и биомассы водорослей, развивающихся в изучаемом водоеме возле месторождений Бахчи-Сарай и Свяжские острова, были достаточно близки (Бахчи-Сарай – средняя численность 1055 тыс. кл/л, средняя биомасса 0,71 мг/л; Свяжские острова – 1107 тыс. кл/л, 0,81 мг/л). Максимальные показатели количественного развития зафиксированы в районе Краснозаринского месторождения (средняя численность 3343 тыс. кл/л, средняя биомасса 2,21 мг/л), что объясняется рядом факторов. Во-первых, дополнительным антропогенным воздействием со стороны г. Волжска, расположенного в непосредственной близости от Краснозаринского месторождения. Промышленные и бытовые стоки поступают именно в эту зону и служат хорошим субстратом для массового развития цианопрокариот. Во-вторых, в данном районе скорость течения и глубина несколько ниже, а степень зарастания макрофитами выше, что создает условия для застоя воды и локального увеличения ее температуры, дополнительно способствуя повышению интенсивности «цветения» воды синезелеными водорослями. В этой ситуации закономерно, что основной вклад в формирование общей численности вносили синезеленые водоросли (цианопрокариоты) – в среднем 47–61 % от общего значения. Величина биомассы весеннего фитопланктона повсеместно традиционно в значительной мере определялась вегетацией диатомовых водорослей (82–96 % от общего значения). Клетки диатомовых водорослей значительно крупнее клеток цианопрокариот, поэтому именно они вносят наиболее значимый вклад в формирование биомассы. Мелкоклеточные цианопрокариоты даже при относительно высокой численности не смогли оказать существенного



влияния на формирование биомассы. Однако в районе Краснозаринского месторождения вклад синезеленых водорослей в формирование биомассы значительно выше, чем на остальных участках, и составляет 5 %. Доля цианопрокариот в формировании биомассы в районе месторождений Бахчи-Сарай и Свяжские острова 1 и 1,5 % соответственно. Увеличение синезеленых водорослей наряду с возрастанием вклада динофитовых водорослей может быть связано с более интенсивным характером антропогенного воздействия и более высокой степенью эвтрофирования в данном районе [2, 8, 9, 12, 13].

Из 236 зарегистрированных в мае 2015 г. видов, разновидностей и форм водорослей в ранг доминирующих вошли 5 видов по численности и 3 вида по биомассе (табл. 1). При этом наличие жесткого доминирования и по численности, и по биомассе в экосистеме месторождения Бахчи-Сарай указывает на неблагоприятные условия и дисбаланс в данной экосистеме. Жесткое и весьма заметное доминирование по биомассе центрической диатомовой водоросли *Stephanodiscus hantzschii* свидетельствует о переходе олиготрофно-эвтрофной сукцессии речного фитопланктона на стадию эвтрофно-гипертрофного сообщества [12, 13].

**Таблица 1.** Виды водорослей, доминирующие по численности и биомассе

Месторождение	Доминирующие виды водорослей	
	по численности	по биомассе
Бахчи-Сарай	<i>Microcystis pulverea</i> (Wood) Forti emend. Elenk. (52 %), <i>Stephanodiscus hantzschii</i> Ehr. (17 %), <i>Chroomonas acuta</i> Uterm. (10 %)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (68 %)
Свяжские острова	<i>Microcystis pulverea</i> (19 %), <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (14 %), <i>Chroomonas acuta</i> (11 %)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (52 %), <i>Cyclotella radiosa</i> (Grun.) Lemm. (11 %), <i>C. meneghingiana</i> Kütz. (11 %)
Краснозаринское	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz. (25 %), <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (12 %), <i>Planktolyngbia limnetica</i> (Lemm.) Kom.-Leg. et Cron. (10 %)	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (48 %)

Показатели видового разнообразия и выравненности сообщества по численности водорослей в экосистемах в зоне месторождений Свяжские острова и Краснозаринское высокие (табл. 2). Это связано с тем, что доминирование видов было заметным, но не жестким. Сам доминирующий комплекс состоял из нескольких компонентов, где доля каждого вида не превышала 25 %. Уменьшение показателей видового разнообразия и выравненности данных сообществ, рассчитанных относительно биомассы водорослей, было существенно ниже, что связано с высоким уровнем доминирования *Stephanodiscus hantzschii*.

**Таблица 2.** Индекс видового разнообразия Шеннона и коэффициент выравнивания по Пиелу

Месторождение	Индекс Шеннона		Число видов	Выравнивание по Пиелу	
	численность	биомасса		численность	биомасса
Бахчи-Сарай	2,83	2,36	120	0,41	0,34
Свияжские острова	4,51	3,16	144	0,63	0,44
Краснозаринское	4,54	3,66	178	0,61	0,49

В экосистеме месторождения Бахчи-Сарай показатели видового разнообразия и выравнивания низкие относительно численности и биомассы, что связано с активной вегетацией *Microcystis pulverea* (жесткий доминант по численности) и *Stephanodiscus hantzschii* (жесткий доминант по биомассе). Низкие значения данных показателей являются еще одним свидетельством неблагоприятных условий в данной зоне и нарушенном биологическом равновесии в системе [9, 12, 13].

**Таблица 3.** Результаты сапробиологического анализа вод

Месторождение	Сапробность	Индекс сапробности		Зона сапробности		Класс качества воды	
		численность	биомасса	численность	биомасса	численность	биомасса
Бахчи-Сарай	по Сладеченку	2,38	2,53	$\beta$	$\alpha$	III	IV
	по Веглу	2,33	2,53	$\beta$	$\alpha$	III	IV
Свияжские острова	по Сладеченку	2,21	2,45	$\beta$	$\beta$	III	III
	по Веглу	2,22	2,45	$\beta$	$\beta$	III	III
Краснозаринское	по Сладеченку	2,04	2,31	$\beta$	$\beta$	III	III
	по Веглу	2,18	2,31	$\beta$	$\beta$	III	III

Значения средних индексов сапробности по численности и биомассе (табл. 3) позволили охарактеризовать водоем на каждом из участков как  $\beta$ -мезосапробный, умеренно загрязненный с III классом качества вод. В зоне месторождения Бахчи-Сарай по индексам сапробности относительно биомассы наблюдалось незначительное превышение верхнего порогового значения  $\beta$ -мезосапробной зоны (2,5), что позволило присвоить уровень

$\alpha$ -мезосапробной зоны. Однако данное превышение является незначительным и могло быть следствием погодно-климатических или других особенностей, поэтому нуждается в уточнении.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа показателей количественного развития фитопланктона в районе разработки месторождений нерудных строительных материалов позволяют сделать вывод, что в данных областях Куйбышевского водохранилища формируются зоны с высокой продуктивностью сообществ фитопланктона и интенсивным уровнем «цветения» воды.

В альгоценозах наибольшее влияние имеют интенсивно развивающиеся синезеленые водоросли, способные в период массового разложения продуцировать опасные фитотоксины и гибель различных гидробионтов. Сообществам при этом свойственно жесткое или заметное доминирование 1–2 видов, как правило,  $\beta$ -мезосапробов, способных к миксотрофному питанию. Структуры сообществ зачастую нестабильны и находятся в состоянии экологического дисбаланса, даже при условии высокого видового разнообразия. Увеличение антропогенного воздействия дополнительными источниками загрязнения (в т. ч. сточными водами населенных пунктов) усугубляет экологическое благополучие водохранилища и усиливает интенсивность «цветения» воды.

По результатам исследования уровень качества воды в зоне месторождений нерудных строительных материалов Куйбышевского водохранилища соответствует III классу качества вод (умеренно-грязные воды). Месторождения НСМ признаны объектами, оказывающими заметное воздействие на состояние биоценоза, особенно в сочетании с иными источниками антропогенного загрязнения. В связи с этим мониторинг состояния фитопланктона в зоне влияния нерудных строительных материалов необходимо продолжить с целью последующей оценки экологического ущерба и разработки комплекса мероприятий по восстановлению экосистемы Куйбышевского водохранилища.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврентьева Г.М. Фитопланктон водохранилищ Волжского каскада // Известия ГосНИОРХ. А: ГосНИОРХ, 1977. Т. 114. 166 с.
2. Кривина Е.С., Кузьмина К.А., Буркова Т.Н., Тарасова Н.Г., Медянкина М.В. Сравнительный анализ осеннего фитопланктона Куйбышевского водохранилища в районе месторождений нерудных строительных материалов // Рыбное хозяйство. 2015. № 3. С. 106–110.
3. Куйбышевское водохранилище (науч.-информ. спр.) / отв. ред. Г.С. Розенберг, А.А. Выхристюк. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2008. 123 с.

4. Ускова С.С., Медянкина М.В., Соколова С.А. Влияние разработки месторождения нерудных строительных материалов «Бахчи-Сарай» на гидробионты Куйбышевского водохранилища // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. С. 103–104.
5. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища. Л.: Наука, 1989. 304 с.
6. Фитопланктон Нижней Волги: водохранилища и низовье реки. СПб.: Наука, 2003. 230 с.
7. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 183 с.
8. Трифонова И.С. Закономерности изменения фитопланктонных сообществ при эвтрофировании озер: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб. 1994. 77 с.
9. Кузьмин Г.В. Фитопланктон. Видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 73–87.
10. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.
11. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во АГУ, 1984. 288 с.
12. Охалкин А.Г. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб. 1997. 280 с.
13. Старцева Н.А., Охалкин А.Г. Состав и структура фитопланктона некоторых пойменных озер культурного ландшафта (на примере г. Нижнего Новгорода) // Биология внутренних вод. 2003. № 4. С. 35–42.

#### **Сведения об авторах:**

Кузьмина Кристина Артемовна, младший научный сотрудник, лаборатория эколого-токсикологических исследований, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), 107140, Россия, г. Москва, В. Красносельская, 17; e-mail: kris\_tea\_na@mail.ru

Медянкина Мария Владимировна, канд. биол. наук, доцент, заведующая лабораторией эколого-токсикологических исследований, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), 107140, Россия, г. Москва, В. Красносельская, 17

Кривина Елена Сергеевна, младший научный сотрудник, лаборатория экологии простейших и микроорганизмов, ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук» (ИЭВБ РАН), 445003, Россия, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10; e-mail: pepelisa@yandex.ru

Буркова Тамара Николаевна, научный сотрудник, лаборатория экологии простейших и микроорганизмов, ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук» (ИЭВБ РАН), 445003, Россия, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10

Тарасова Наталья Геннадьевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория экологии простейших и микроорганизмов, ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук» (ИЭВБ РАН), 445003, Россия, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10; e-mail: tnag@mail.ru