

УДК 574.24: 595.371: 556.166.2

РЕАКЦИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ АМФИПОДЫ *GMELINOIDES FASCIATUS* STEBBING НА ДЕЙСТВИЕ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА

А. И. Сидорова¹, Н. М. Калинкина¹, И. В. Дыдик²

¹ Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

² Петрозаводский государственный университет

За последнее десятилетие в Онежском озере по всей литоральной зоне распространилась амфипода *Gmelinoides fasciatus* Stebbing 1899 (Gammaridae). Рачок был интродуцирован в водоемы европейской части России из байкальского региона в 1970-х гг. В целом на литорали Онежского озера численность и биомасса *G. fasciatus* достигают высоких значений (численность – более 5000 экз./м² и биомасса – более 5,5 г/м²). В то же время в Петрозаводской губе, в районе городского побережья, численность данного вида невысока – 132–462 экз./м². Поскольку в залив поступают ливневые стоки города Петрозаводска, возникла необходимость определения их токсичности для этого вида и эколого-токсикологической оценки состояния прибрежной части залива. В статье представлены результаты биотестирования ливневых стоков с использованием двух видов – *G. fasciatus* и стандартного тест-объекта *Ceriodaphnia affinis*.

Ключевые слова: ливневые стоки, биотестирование, региональный тест-объект, *Gmelinoides fasciatus*, *Ceriodaphnia affinis*, Петрозаводская губа Онежского озера.

A. I. Sidorova, N. M. Kalinkina, I. V. Dydik. REACTION OF THE BAIKALIAN AMPHIPOD *GMELINOIDES FASCIATUS* STEBBING TO THE IMPACT OF STORMWATER FROM THE CITY OF PETROZAVODSK

The amphipod *Gmelinoides fasciatus* has spread throughout the littoral zone of Lake Onego over the past decade. The species was introduced into inland waterbodies of European Russia from the Baikal region in the 1970s. In Lake Onego the population indices of the species are relatively high (abundance – over 5000 ind./m², biomass – over 5.5 g/m²). At the same time, in the Petrozavodsk Bay, near the city of Petrozavodsk, the species abundance is quite low – 132–462 ind./m². Great volumes of stormwater flow into the bay from the city of Petrozavodsk necessitating an assessment of the toxicity of the stormwater for *G. fasciatus* and of the environmental and toxicological status of the Petrozavodsk Bay littoral ecosystem. The results of stormwater bioassays using two species – *G. fasciatus* and the standard test organism *Ceriodaphnia affinis* are presented in this paper.

Key words: stormwater, bioassay, regional test organism, *Gmelinoides fasciatus*, *Ceriodaphnia affinis*, Petrozavodsk Bay of Lake Onego.

Введение

В 2001 г. в Онежском озере был обнаружен вид-вселенец *Gmelinoides fasciatus* Stebbing 1899, имеющий байкальское происхождение [Березина, Панов 2003; Матафонов и др., 2005]. Амфипода *G. fasciatus* широко использовалась в ряде работ по акклиматизации беспозвоночных животных в водоемы-реципиенты в целях увеличения их продуктивности. Рачок *G. fasciatus* был интродуцирован в 1960–1970-х гг. в ряд озер и водохранилищ европейской части России из Байкала. Впоследствии вид-вселенец успешно акклиматизировался и начал проникать в другие водоемы. К 1996 г. вид заселил всю литоральную зону Ладожского озера [Панов, 1994; Матафонов и др., 2005].

В последнее десятилетие вселенец *G. fasciatus* широко распространился в литоральной зоне Онежского озера [Кухарев и др., 2008]. Показатели его численности достигают более 5000 экз./м², биомассы – более 5,5 г/м². В то же время на литорали Петрозаводской губы, в районе водозабора питьевой воды для г. Петрозаводска, зарегистрированы низкие показатели численности *G. fasciatus* – 132–462 экз./м². [Калинкина и др., 2006].

Побережье Петрозаводской губы подвергается действию ливневых стоков, объемы которых достигают 10 млн м³/год [Сабылина, 2007]. Загрязнение прибрежной зоны в районе водозабора приводит к заметному изменению химического состава воды и донных отложений Петрозаводской губы. Так, в мае 2003 г. в районе водозабора концентрация в донных отложениях нефтяных углеводородов была весьма высока (0,023 %) и значительно превышала содержание нефтепродуктов в районе пляжа «Пески» (0,006 %) [Белкина, 2007].

Уменьшение численности популяции *G. fasciatus* в районе водозабора могло быть связано с загрязнением прибрежной зоны Петрозаводской губы ливневыми стоками. Для проверки этого предположения, а также для оценки экологической ситуации в районе водозабора были запланированы эксперименты по оценке токсичности ливневых стоков для вида *G. fasciatus*. Одновременно в опытах использовали стандартный тест-объект – ветвистоусого рачка *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg 1900 [Чалова, Крылов, 2007].

Цель настоящей работы – изучить реакцию видов *G. fasciatus* и *C. affinis* на действие ливневых вод, поступающих в Петрозаводскую губу в районе водозабора. Задачи, которые ре-

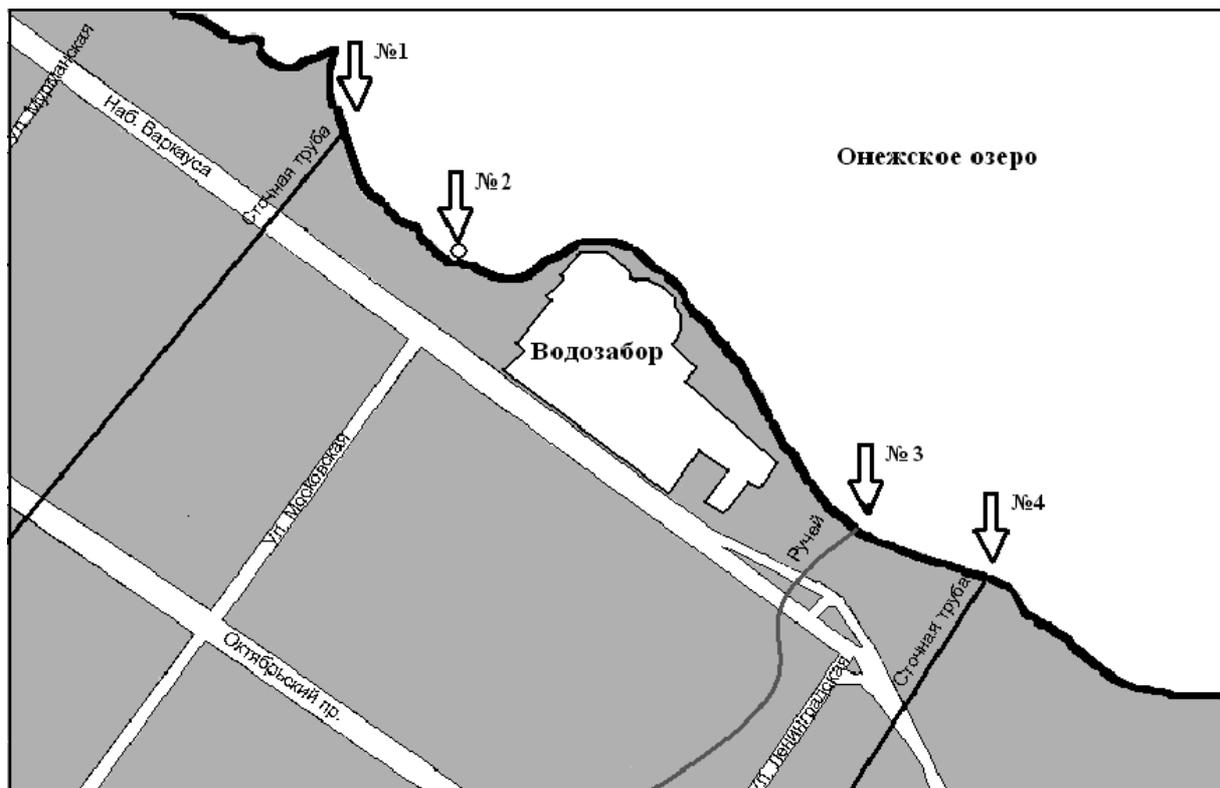
шались в ходе исследования: выполнить оценку токсичности ливневых стоков для двух видов ракообразных *G. fasciatus* и *C. affinis*; оценить возможность использования *G. fasciatus* как регионального тест-объекта при биотестировании сточных вод; оценить экологическую ситуацию в зоне водозабора на основе результатов биотестирования.

Материал и методы

Оценка экологической ситуации в районе водозабора и исследование токсичности ливневых стоков были выполнены методами биотестирования [Строганов, 1971], которые позволяют оценить совокупное влияние компонентов ливневых стоков, тогда как гидрохимические методы дают информацию о содержании отдельных токсикантов. Преимуществом методов биотестирования является способность живых организмов воспринимать более низкие концентрации веществ, чем любой аналитический датчик [Биологический контроль..., 2010; Штамм и др., 2011].

Исследования по биотестированию проводились в июле в 2010 г. и в мае – июле 2011 г. Пробы воды отбирали на 4 станциях (рис.): станции № 1, 4 – выходы труб, по которым ливневые стоки попадают в Петрозаводскую губу; № 2 – озерная станция, расположенная на расстоянии 1 м от берега и глубине 30 см; № 3 – это устье ручья, впадающего в Петрозаводскую губу в районе ул. Ленинградской. В 2010 г. пробы воды отбирались 3 раза с периодичностью один раз в неделю, в 2011 г. – также 3 раза с периодичностью один раз в 15–20 дней.

В опытах использовали индивидуальную посадку животных. Амфиподу *G. fasciatus* (молодь размером 1,5–3 мм) отлавливали на литорали Онежского озера в районе пригорода г. Петрозаводска, здесь же отбирали воду для контрольного варианта. В 2010 г. было поставлено 3 серии опытов в 7 повторностях, в 2011 г. – 2 серии опытов в 7 повторностях (всего использовано 700 экземпляров). Рачков кормили 1 раз в сутки нитчатými водорослями. Биотестирование ливневых стоков с использованием вида *C. affinis* проводили согласно методическим рекомендациям [Жмур, 2001]. В качестве контроля применяли воду, взятую из родника на ул. Вольной (г. Петрозаводск). В 2010 и 2011 гг. было поставлено по 3 серии опытов в 7 повторностях (всего использовано 840 экземпляров). Рачков кормили один раз в сутки суспензией зеленых водорослей. Воду заменяли на свежую через сутки.



Карта-схема расположения станций отбора проб ливневых вод:

ст. 1 – сточная труба, из которой ливневые стоки поступают в озеро в районе ул. Мурманской; ст. 2 – литоральная часть озера с левой стороны от водозабора; ст. 3 – ручей, впадающий в озеро с правой стороны от водозабора; ст. 4 – сточная труба, из которой ливневые стоки поступают в озеро в районе ул. Ленинградской

Продолжительность опытов с каждым видом рачков в 2010 г. составила 7 суток, в 2011 г. – 14 суток. Исследовали действие неразбавленных образцов воды, а также их 2-кратного, 5-кратного и 10-кратного разведений. Во время опытов температура варьировала в пределах 19–23 °С. Достоверность различий между опытными и контрольными показателями выживаемости оценивали с использованием критерия Фишера (F) с ϕ -преобразованием [Ивантер, Коросов, 2003].

Результаты и обсуждение

Результаты исследований за 2010 г., когда продолжительность опытов составила 7 дней, показали, что наиболее токсичные неразбавленные пробы ливневых стоков были обнаружены на станции № 1 (табл. 1). Выживаемость *G. fasciatus* в этих пробах снижалась до 14 %. С увеличением разведения выживаемость возрастала до 100 %. В пробах воды из ручья (станция № 3) выживаемость вида-вселенца также оказалась весьма низкой – 29 %. Согласно классификации токсичности сточных вод [Строганов, 1971], пробы воды со станций № 1 и 3 можно охарактеризовать как сильно токсичные. Ливневая вода со стока № 4 имела наи-

меньшую степень токсичности, так как выживаемость *G. fasciatus* в этих пробах варьировала в пределах 71–100 %.

Особо выделяется озерная станция № 2 (литоральная зона вблизи водозабора). В пробе, взятой 6 июля 2010 г., наблюдали полное вымирание вида *G. fasciatus*. Разбавление пробы контрольной водой в 2–10 раз не снижало ее токсического действия на рачков (см. табл. 1). Токсичность озерной воды со станции № 2 характеризуется как весьма сильная. Важно отметить, что сроки обнаружения токсичности озерной воды (6 июля) совпали со сроками высокой токсичности ливневых стоков (станции № 1 и 3). Следовательно, именно ливневые стоки обуславливают неблагоприятную ситуацию в литоральной зоне Петрозаводской губы.

В 2010 г. на протяжении всего периода исследования неразбавленная вода ливневых стоков, а также ее разведения не оказали существенного влияния на выживаемость рачков *C. affinis* (см. табл. 1). Исключение составила озерная станция № 2: в пробах воды с этой станции выживаемость ветвистоусых рачков снижалась до 29 %. Таким образом, по данным 2010 г. вид *G. fasciatus* оказался более чувствителен к воздействию ливневых стоков, чем ветвистоусый рачок *C. affinis*.

Таблица 1. Выживаемость (%) *Gmelinoides fasciatus* и *Ceriodaphnia affinis* в ливневых стоках в 2010 г., экспозиция 7 суток

№ станции	Разбавление	<i>Gmelinoides fasciatus</i>			<i>Ceriodaphnia affinis</i>		
		6 июля	13 июля	21 июля	6 июля	13 июля	21 июля
1	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	14*	57*	71	100	86	71
	2х	71	86	86	100	100	71
	5х	86	86	86	86	86	86
2	10х	100	100	100	100	100	86
	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	0*	86	100	29*	71	100
	2х	0*	100	86	43*	86	86
3	5х	14*	100	100	86	100	100
	10х	29*	86	100	86	86	100
	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	29*	57*	86	86	86	100
4	2х	71	71	86	71	100	100
	5х	43*	86	86	86	100	100
	10х	71	86	86	100	86	100
	К	100	100	100	100	100	100
	н/р	86	71	100	86	100	100
	2х	71	71	86	100	100	100
	5х	100	86	100	100	100	100
	10х	86	100	86	100	86	100

Примечание. Здесь и в табл. 2–3: К – контроль; н/р – неразбавленный ливневый сток; 2х – двукратное разведение ливневых стоков; 5х – пятикратное разведение ливневых стоков; 10х – десятикратное разведение ливневых стоков. № 2 – озерная станция (объяснения см. в тексте). * – отличия от контроля достоверны ($p < 0,05$).

Данные опытов за 2011 г. при продолжительности 7 суток в целом совпадают с материалами, полученными в 2010 г. (табл. 2). Однако пробы воды со станции № 1 оказали менее негативное воздействие (средней степени токсичности) на *G. fasciatus* по сравнению с 2010 г. Вода из ручья (станция № 3) характеризовалась также сильной токсичностью: 20 июня 2011 г. была зафиксирована полная гибель тест-объектов. В течение двух лет исследований ливневый сток № 4 оказывал самое слабое токсическое действие на тест-объекты. Образцы воды со станции № 2, которая находится на литорали Петрозаводской губы, оказывали сильное токсическое влияние на байкальскую амфиподу, выживаемость организмов снижалась до 29 %.

При экспозиции 7 суток в 2010 г. для вида *G. fasciatus* (см. табл. 1) было отмечено 58 % случаев слабой токсичности стоков от числа всех опытов, проведенных в этом году, в то время как в 2011 г. число таких случаев составило 38 % (см. табл. 2). Число случаев средней токсичности стоков в 2010 г. составляло 17 %, в 2011 г. – 38 %. В первый год исследования было обнаружено 8 % случаев очень сильного токсического действия стоков и 17 % сильного воздействия на байкальскую амфиподу. В 2011 г. было установлено

25 % случаев сильной токсичности стоков *G. fasciatus* от общего количества опытов. Эти данные позволяют считать ситуацию в районе водозабора на литорали Петрозаводской губы крайне неблагоприятной.

Таблица 2. Выживаемость (%) *Gmelinoides fasciatus* и *Ceriodaphnia affinis* в ливневых стоках в 2011 г., экспозиция 7 суток

№ станции	Разбавление	<i>Gmelinoides fasciatus</i>		<i>Ceriodaphnia affinis</i>		
		20 июня	4 июля	30 мая	20 июня	4 июля
1	К	100	100	100	100	100
	н/р	57*	86	86	71	86
	2х	86	100	100	100	100
	5х	86	100	86	86	100
2	10х	100	100	100	100	100
	К	100	100	100	100	100
	н/р	29*	57*	71	57*	86
	2х	100	71	100	100	100
3	5х	86	86	86	86	100
	10х	100	100	100	100	100
	К	100	100	100	100	100
	н/р	0	29*	43*	57*	86
4	2х	71	71	86	100	100
	5х	71	71	86	86	100
	10х	100	100	100	100	100
	К	100	100	100	100	100
	н/р	86	86	71	71	71
	2х	100	100	86	100	100
	5х	86	100	86	86	86
	10х	86	100	100	100	100

В период исследования 2011 г. при экспозиции 7 суток ветвистоусый рачок *C. affinis* вновь проявил большую устойчивость по сравнению с видом *G. fasciatus*. В целом выживаемость *C. affinis* в разных пробах варьировала в пределах 71–100 %, исключение составляли станции № 2 и 3, где в неразбавленных пробах выживаемость цериодафний снижалась до 57 и 43 %, соответственно.

В 2011 г. продолжительность опытов была увеличена до 14 суток (табл. 3). Это привело к существенному усилению токсического действия исследуемых образцов воды на тест-объекты. Выживаемость *G. fasciatus* в разных пробах снизилась на 14–57 % по сравнению с данными опытов, продолжительность которых составляла 7 суток (см. табл. 2).

Выживаемость *C. affinis* при экспозиции 7 суток варьировала в пределах 43–86 % (см. табл. 2), при увеличении продолжительности опытов до 14 суток выживаемость ветвистоусых рачков уменьшилась до 14–71 % (см. табл. 3). Согласно разработанной классификации [Строганов, 1971], показатели токсичности тестируемых образцов воды для *C. affinis* возросли от слабой степени до средней.

Таблица 3. Выживаемость (%) *Gmelinoides fasciatus* и *Ceriodaphnia affinis* в ливневых стоках в 2011 г., экспозиция 14 суток

№ станции	Разбавление	<i>Gmelinoides fasciatus</i>		<i>Ceriodaphnia affinis</i>		
		20 июня	4 июля	30 мая	20 июня	4 июля
1	К	100	86	100	100	100
	н/р	14*	43*	71	57*	29*
	2х	43*	71	86	86	71
	5х	71	86	100	86	86
	10х	86	86	100	100	86
2	К	86	100	100	100	100
	н/р	14*	14*	43*	43*	29*
	2х	43*	43*	71	71	57*
	5х	71	57*	86	86	86
	10х	86	86	100	100	86
3	К	86	100	100	100	100
	н/р	0	14*	14*	57*	43*
	2х	0	43*	71	86	71
	5х	29*	57*	86	100	86
	10х	43*	86	100	100	100
4	К	86	100	100	100	100
	н/р	43*	57*	57*	71	71
	2х	57*	86	71	86	86
	5х	71	100	71	86	100
	10х	71	100	100	100	100

Таким образом, результаты биотестирования ливневых стоков свидетельствуют о крайне неблагоприятной экологической ситуации на побережье Петрозаводской губы в районе водозабора. Ливневые стоки, поступающие с берега в этот район, характеризовались в основном высокой степенью токсичности, что, по видимому, объясняет низкую численность *G. fasciatus* на этом участке Петрозаводской губы.

В литературе имеются сведения о применении вида-вселенца при изучении токсичности отдельных химических компонентов. Так, изучалась реакция *G. fasciatus* на действие калия, кальция, натрия и магния [Березина, 2003], хлорида кадмия [Тимофеев, 2010] и лигносульфоната натрия [Высоцкая и др., 2011]. В наших экспериментах установлена более высокая чувствительность *G. fasciatus* к ливневым стокам по сравнению со стандартным тест-объектом *C. affinis*. Эти данные хорошо согласуются с результатами биотестирования техногенных вод Костомукшского ГОКа, согласно которым вид *G. fasciatus* оказался значительно более чувствительным по сравнению с видом *C. affinis* [Калинкина и др., 2011]. Это позволяет рекомендовать *G. fasciatus* в качестве регионального тест-объекта для оценки токсичности не только ливневых стоков, но и сточных вод различных видов производств, поступающих в водные объекты Карелии.

Выводы

1. Биотестирование ливневых стоков, поступающих в Петрозаводскую губу Онежского озе-

ра в районе водозабора, с использованием двух видов тест-объектов – *Gmelinoides fasciatus* и *Ceriodaphnia affinis* – позволило обнаружить их токсичность, которая варьировала от слабой до весьма высокой.

2. Эколого-токсикологическая ситуация на литорали Петрозаводской губы в районе водозабора питьевой воды для г. Петрозаводска характеризуется как крайне неблагоприятная.

3. В опытах по биотестированию ливневых и промышленных стоков вид *G. fasciatus* по сравнению со стандартным тест-объектом *C. affinis* проявил большую чувствительность, что позволяет рекомендовать его как региональный тест-объект для оценки токсичности сточных вод различных видов производств, поступающих в водные объекты Карелии.

Литература

- Белкина Н. А. Химический состав донных отложений // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С 40–49.
- Березина Н. А. Резистентность пресноводных беспозвоночных к изменению минерализации воды // Экология. 2003. № 4. С. 296–301.
- Березина Н. А., Панов В. Е. Вселение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежское озеро // Зоологический журнал. 2003. Т. 82, № 6. С. 731–734.
- Биологический контроль окружающей среды: Биоиндикация и биотестирование: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ред. О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева. 3-е изд., стереотип. М.: Академия, 2010. 288 с.
- Высоцкая Р. У., Калинкина Н. М., Кононова (Ткач) Н. П. Изменение липидного состава амфипод *Gmelinoides fasciatus* под влиянием лигносульфоната натрия // Современные проблемы водной токсикологии: Материалы конф. (17–19 мая 2011 г., г. Петрозаводск). Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. С. 29–32.
- Жмур Н. С. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. М.: АКВАРОС, 2001. 52 с.
- Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учеб. пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. 304 с.
- Калинкина Н. М., Сярки М. Т., Федорова А. С. Динамика популяционных показателей инвазионного вида *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) в Петрозаводской губе Онежского озера // Северная Европа в 21 веке: Природа, культура, экономика. Материалы Междунар. конф., посвящ. 60-летию КарНЦ РАН (24–27 окт. 2006 г., г. Петрозаводск). Секция «Биологические науки». Секция «Науки о земле». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 269–271.
- Калинкина Н. М., Чекрыжева Т. А., Куликова Т. П., Рябинкин А. В. Особенности реакции биоты водоемов Карелии на изменение ионного состава воды в

условиях воздействия отходов горнорудного производства // Тр. Карельского НЦ РАН. 2011. № 4. С. 29–34.

Кухарев В. И., Полякова Т. Н., Рябинкин А. В. Распространение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Amphipoda, Crustacea) в Онежском озере // Зоологический журнал. 2008. Т. 87, № 10. С. 1270–1273.

Матафонов Д. В., Итигилова М. Ц., Камалтынов Р. М., Фалейчик Л. М. Байкальский эндемик *Gmelinoides fasciatus* (Micropodidae, Gammaroidea, Amphipoda) в озере Арахлей // Зоологический журнал. 2005. Т. 84, № 3. С. 321–329.

Панов В. Е. Байкальская эндемичная амфипода *Gmelinoides fasciatus* Steb. в Ладожском озере // Доклады Академии Наук. 1994. Т. 336, № 2. С. 279–282.

Сабылина А. В., Рыжаков А. В. Химический состав воды озера // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга

1998–2006 гг. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 29–40.

Строганов Н. С. Методика определения токсичности водной среды // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука, 1971. С. 14–60.

Тимофеев М. А. Экологические и физиологические аспекты адаптации к абиотическим факторам среды эндемичных байкальских и палеарктических амфипод: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2010. 44 с.

Чалова И. В., Крылов А. В. Оценка качества природных сточных вод методами биотестирования с использованием ветвистоусых ракообразных (Cladocera, Crustacea). Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2007. 73 с.

Штамм Е. В., Скурлатов Ю. В., Козлова Н. Б. и др. Биотестирование в оценке эффективности технологий очистки сточных вод // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 2. С. 232–238.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сидорова Анастасия Ивановна

аспирант
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185003
эл. почта: bolt-nastya@yandex.ru

Калинкина Наталия Михайловна

зав. лаб. гидробиологии, д. б. н.
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185003
эл. почта: Kalina@nwpi.krc.karelia.ru
тел.: (8921) 4555547

Дыдик Ирина Владимировна

студентка 5 курса ЭБФ ПетрГУ
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910
эл. почта: Kalina@nwpi.krc.karelia.ru

Sidorova, Anastasia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: bolt-nastya@yandex.ru

Kalinkina, Natalia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: Kalina@nwpi.krc.karelia.ru
tel.: (8921) 4555547

Dydik, Irina

Petrozavodsk State University
33 Lenin St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: Kalina@nwpi.krc.karelia.ru