

ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1 МЕТОДОМ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ГОЛОВНЫХ КАПСУЛ ЛИЧИНОК ХИРОНОМИД

П. В. Матафонов^{1✉}, А. Б. Шойдоков²

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ул. Недорезова, д. 16а, 672014, г. Чита, Россия

² Забайкальский государственный университет, ул. Бабушкина, д. 129, 672014, г. Чита, Россия

Сведения об авторах

Матафонов Пётр Викторович

E-mail: benthos@yandex.ru

SPIN-код: 6453-5810

Scopus Author ID: 8846837800

ORCID: 0000-0001-9694-7917

Шойдоков Александр Булатович

E-mail: shoidokov.a1998@gmail.com

Аннотация. При экологическом мониторинге водоемов-охладителей угольных энергетических станций не всегда производится оценка их токсического загрязнения. Целью исследования стала оценка токсического загрязнения озера Кенон — водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 методом морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид. У личинок хирономид р. *Chironomus* из озера Кенон обнаружены такие тяжелые деформации головных капсул, как отсутствие боковых зубцов ментума, сплавление боковых зубцов ментума, добавочные боковые зубцы ментума, искажение формы центрального зубца ментума, отсутствие срединного зубца ментума, асимметрия ментума. Тяжелые деформации ментума обнаружены только у личинок, собранных на станциях вблизи ТЭЦ-1. Встречаемость таких личинок здесь достигала 24 %, что соответствует условиям сильного токсического загрязнения. В целом по озеру встречаемость личинок с тяжелыми деформациями ментума составила 2,4 %, что соответствует условиям фонового состояния водоемов или их слабого токсического загрязнения. В соответствии со стадиями развития экологического кризиса экосистем состояние экосистемы озера Кенон вблизи ТЭЦ-1 соответствует этапу стресса на генетическом уровне этапа прогрессирующего кризиса экосистемы. В остальной части озера не достигает его. Наличие у личинок хирономид тяжелых деформаций ментума вблизи ТЭЦ-1 может быть обусловлено загрязнением этой части озера токсическими элементами, поступающими в озеро из золошлакоотвала ТЭЦ-1 и со сбросными водами ТЭЦ-1. В целях предотвращения дальнейшего развития кризиса экосистемы озера Кенон приоритетные природоохранные мероприятия должны быть направлены на исключение токсического загрязнения озера, в первую очередь со стороны объектов ТЭЦ-1. Токсикологические методы и метод морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид рекомендуется включить в систему экологического мониторинга донных отложений и экосистемы озера Кенон.

Права: © Авторы (2020). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Ключевые слова: угольные ТЭЦ, водоем-охладитель, токсическое загрязнение, металлы, *Chironomus*, морфологические деформации, ментум, озеро Кенон.

TOXIC POLLUTION ASSESSMENT OF CHITA TPP-1 COOLING RESERVOIR BY APPLYING THE METHOD OF HEAD CAPSULE MORPHOLOGICAL DEFORMATIONS IN CHIRONOMID LARVAE

P. V. Matafonov¹✉, A. B. Shoydokov²

¹Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, SB RAS, 16a Nedorezova Str., 672014, Chita, Russia

²Transbaikal State University, 129 Babushkina Str., 672014, Chita, Russia

Authors

Petr V. Matafonov

E-mail: benthos@yandex.ru

SPIN: 6453-5810

Scopus Author ID: 8846837800

ORCID: 0000-0001-9694-7917

Aleksandr B. Shoydokov

E-mail: shoidokov.a1998@gmail.com

Abstract. Environmental monitoring of cooling reservoirs for coal-fired power plants does not always assess their toxic pollution. The aim of the study was to assess the level of toxic pollution in Lake Kenon – Chita TPP-1 cooling reservoir, applying the method of head capsule morphological deformations. We found severe mentum deformities in chironomid larvae genus *Chironomus*, such as absence of lateral teeth, fusion of lateral teeth, additional lateral teeth, distorted shape of the central tooth, absence of the median tooth, and asymmetry of the mentum. These deformities were found in the larvae collected at monitoring stations near TPP only. Herein, the occurrence of such larvae reached 24%, indicating high levels toxic pollution. In total, the occurrence of larvae with severe mentum deformities in the lake amounted to 2.4%, which corresponds to background or low toxic pollution. According to the stages of ecological crisis in ecosystems, the present state of Lake Kenon near the TPP corresponds to the stage of genetic level stress within the stage of progressing crisis. The state of the remaining part of the lake currently has not reached this stage. We assume that severe mentum deformations in chironomid larvae near the TPP were caused by water contamination with toxic elements from the power plant's ash storage unit entering the lake with TPP wastewater. In order to prevent any further crisis developments for the Kenon ecosystem, priority environmental measures should be aimed at preventing its toxic pollution. We suggest that toxicological methods and the method of head capsule morphological deformations in chironomid larvae should be included in the ecological monitoring system of the bottom sediments and the Kenon ecosystem.

Copyright: © The Authors (2020).
Published by Herzen State Pedagogical
University of Russia. Open access under
CC BY-NC License 4.0.

Keywords: coal-fired TPP, cooling reservoir, toxic pollution, metals, *Chironomus*, morphological deformations, mentum, Lake Kenon.

ВВЕДЕНИЕ

Водоемы-охладители угольных ТЭЦ подвержены различным видам загрязнения, однако при экологическом мониторинге не всегда производится индикация и оценка уровня их токсического загрязнения. В Забайкальском крае загрязнению токсическими элементами подвержено находящееся в г. Чита озеро Кенон — водоем-охладитель Читинской ТЭЦ-1 (Tsybekmitova, Kuklin, Tsyganok 2019). Экологический мониторинг озера Кенон по организмам зообентоса проводится на локальных участках (Хромов 2016) с использованием индекса Вудивисса и олигохетного индекса и не

дает представления о токсичности донных отложений и уровне токсического загрязнения озера Кенон, необходимого при разработке адекватных уровню токсического загрязнения озера мероприятий по сохранению и восстановлению его экосистемы. Сведения о влиянии токсического загрязнения на организмы зообентоса озера Кенон получены на примере двустворчатых моллюсков (Клишко, Авдеев, Зазулина, Борзенко 2005; Клишко, Авдеев, Голубева 2007), населяющих преимущественно прибрежную зону озера вблизи ТЭЦ-1, что не позволяет использовать полученные данные в оценке токсического загрязнения всей экосистемы озера.

Одним из перспективных методов индикации и оценки токсического загрязнения различных водоемов становится использование морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид (Dickman, Rygiel 1996; Ilyashuk, Ilyashuk, Dauvalter 2003; Odume, Muller, Palmer, Arimoro 2012; Гребенюк, Томилина 2014). Полагают, что данный метод эффективнее отражает потенциальную токсичность донных осадков в сравнении с методами химического анализа в связи с невозможностью измерить все токсиканты, присутствующие в загрязненных донных отложениях (Di Veroli, Goretti, Paumen et al. 2012; Di Veroli, Santoro, Pallottini et al. 2014). В подверженных загрязнению Zn, Cu, Ni, Cr, As, Mo, Co водоемах у личинок хирономид pp. *Chironomus* отмечают тяжелые деформации зубцов ментума и мандибул, в подверженных загрязнению ртутью — деформации антенн (Dickman, Rygiel 1996; Ilyashuk, Ilyashuk, Dauvalter 2003; Гремячих, Томилина, Гребенюк 2009; Di Veroli, Santoro, Pallottini et al. 2014). В условиях сильного токсического загрязнения тяжелыми металлами или органическими токсикантами у личинок хирономид происходит тотальная, до неузнаваемости, деформация ментума (Гребенюк, Томилина 2014).

Целью исследования стала оценка уровня токсического загрязнения водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 методом морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид рода *Chironomus*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Озеро Кенон (52°02'17" с. ш., 113°22'59" в. д.) — один из самых крупных водоемов в верхней части бассейна р. Амур. Площадь зеркала озера составляет 16,0 км², длина — 5,7 км, средняя глубина — 4,4 м, наибольшая глубина — 6,8 м (Итигилова, Чечель, Замана и др. 1998).

Озеро используется в качестве водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 более 50 лет. За это время деятельность ТЭЦ, работающей на угле, привела к значитель-

ному изменению гидрохимического режима озера (Итигилова, Чечель, Замана и др. 1998; Шарапов, Токарева 2016). В настоящее время минерализация вод озера составляет 0,53 г/л, в анионном составе сульфаты преобладают над карбонатами (Цыбекмитова 2016). Поступление основной массы загрязняющих, в том числе токсических, веществ в озеро Кенон происходит с дренажными водами золошлакоотстойника, введенного в эксплуатацию в 1973 г., и сбросными водами Читинской ТЭЦ-1 (Шарапов, Токарева 2016; Усманова 2019). Таким образом, например, происходит загрязнение озера Кенон Mn, Zn, Sr, Mo, W (Итигилова, Чечель, Замана и др. 1998; Цыбекмитова 2016). Кроме того, загрязняющие вещества поступают в озеро Кенон с водами притоков (Итигилова, Чечель, Замана и др. 1998; Цыбекмитова 2016). Несмотря на негативные изменения химического состава вод, озеро остается популярным и перспективным местом отдыха жителей Забайкальского края, в связи с чем разрабатывается краевая программа по сохранению озера Кенон.

Личинки хирономид рода *Chironomus* являются одним из наиболее распространенных и массовых компонентов зообентоса озера Кенон (Клишко, Авдеев, Зазулина 2005). Материалом для настоящего исследования послужили личинки рода *Chironomus*, собранные на мониторинговых станциях в различных частях озера Кенон (рис. 1, табл. 1) с 2010 по 2019 гг. Мониторинговые станции разделены на условно фоновые станции и станции группы «ТЭЦ». Станции 1.1 и 1.2 отнесены к группе «ТЭЦ», так как они расположены на периферии влияния сбросных вод ТЭЦ-1 в подледный период, вблизи от полыньи, и отличаются от фоновых станций заметно меньшей толщиной льда. Так, в начале весеннего периода 2019 г. толщина льда на станциях 1.1 и 1.2 составила 0,84 м, тогда как на фоновых станциях она изменялась в узком диапазоне от 1,03 до 1,08 м.

В материалах исследования личинки представлены видами, морфологически

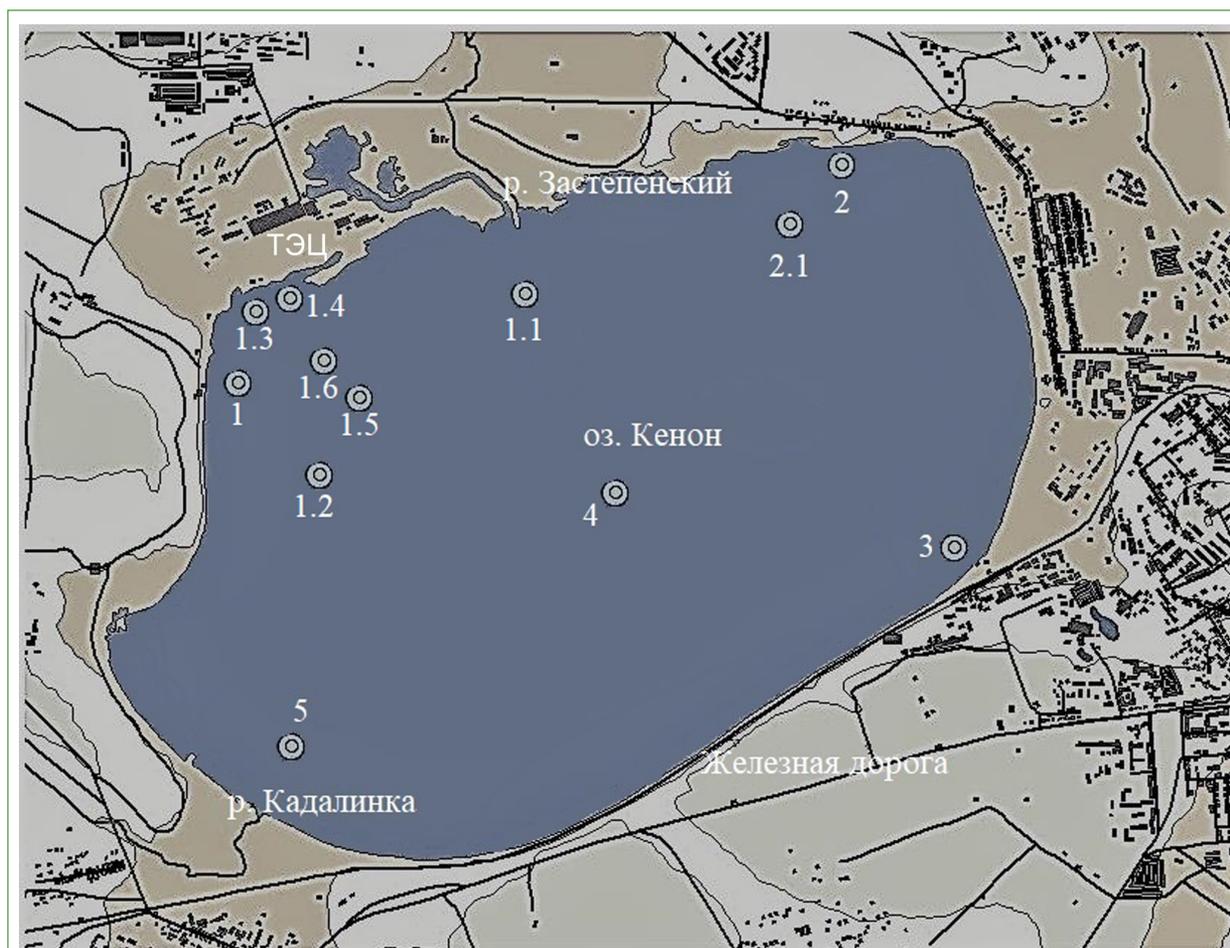


Рис . 1. Схема мониторинговых станций на озере Кенон:

1–1.6 — ТЭЦ; 2–2.1 — КСК; 3 — Нефтебаза; 4 — Центр озера; 5 — Кадалинка

Fig. 1. Diagram of monitoring stations on Kenon lake:

1–1.6 — TPP; 2–2.1 — KSK; 3 — Tank farm; 4 — Lake Center; 5 — Kadalinka

близкими *Chironomus annularius* Meigen, 1818, *Chironomus cyngulatus* Meigen, 1830 и *Chironomus (C.) tentans* (Fabricius, 1805). Для исследования были отобраны личинки четвертого и третьего возрастов. Изучение структур головной капсулы личинок проводили на временных давленных препаратах. Всего осмотрено 411 головных капсул личинок, из которых 301 со станций группы «ТЭЦ» и 110 с условно фоновых станций (табл. 1).

К тяжелым деформациям, учитываемым при индикации и оценке уровня токсического загрязнения (Martinez, Moore, Schaumloffel, Dasgupta 2002; Odume, Muller, Palmer, Arimoro 2012), относили такие однозначно идентифицируемые деформации, как отсутствие зубцов ментума, появление добавочных зубцов ментума,

сплавление зубцов ментума, асимметрия ментума и антенн и т. п. Неуверенно идентифицируемые отклонения в морфологии органов головной капсулы оценивали как отклонения в пределах нормы (рис. 1: 2.1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

У личинок хирономид рр. *Chironomus* из озера Кенон обнаружены изменения морфологии мандибул, антенн и зубцов ментума различной степени тяжести. Тяжелые деформации обнаружены только в отношении ментума (табл. 2). Количество личинок с такими деформациями в материалах исследования составило 10 экз., а их встречаемость — 2,4 %.

Тяжелые деформации обнаружены только у личинок хирономид, отобранных на станциях группы «ТЭЦ». Встречаемость

Таблица 1
Количество личинок рр. *Chironomus* в материалах исследования

Table 1

The amount of *Chironomus* genus larvae in research material

Станция	Дата сбора	Географические координаты (с. ш., в. д.)	Количество личинок
Станции группы «ТЭЦ»			
1	17 сентября 2010 г.	52°02'36", 113°21'18"	60
1	17 мая 2012 г.	52°02'36", 113°21'18"	30
1.1	16 марта 2015 г.	52°02'39", 113°22'50"	17
1.3	17 июня 2016 г.	52°02'55", 113°21'20"	58
1.4	18 августа 2016 г.	52°02'58", 113°21'25"	9
1.5	18 августа 2016 г.	52°02'44", 113°21'39"	45
1.6	18 августа 2016 г.	52°02'50", 113°21'31"	72
1.2	20 марта 2019 г.	52°02'27", 113°21'51"	10
Условно фоновые станции			
5	17 мая 2012 г.	52°01'43", 113°21'04"	15
3	06 августа 2012 г.	52°02'37", 113°25'02"	35
2	06 августа 2012 г.	52°03'17", 113°23'57"	15
4	19 декабря 2012 г.	52°02'17", 113°22'59"	30
2.1	20 марта 2019 г.	52°03'08", 113°24'15"	15

таких личинок на отдельных станциях здесь достигала 24 % (табл. 2), а во всей выборке из этой части озера составила 3,3 %. На условно фоновых станциях обнаружены личинки с отклонениями морфологии ротовых органов и антенн только в пределах нормы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сведения о региональном фоне встречаемости личинок хирономид с тяжелыми морфологическими деформациями головных капсул в водоемах Забайкальского края и озере Кенон отсутствуют. В не подверженных токсическому загрязнению водоемах и при слабом токсическом загрязнении водоемов встречаемость личинок с деформациями находится на уровне ниже 10 %, при среднем уровне токсического загрязнения она изменяется от 10 до 20 %, а в условиях высоких концентраций токсических элементов и сильного токсического загрязнения достигает 65 % (Dickman, Rygiel 1996, 702; Di Veroli, Goretti, Paumen et al. 2012, 215; Di Veroli, Santoro, Pallottini et al. 2014, 15; Martinez, Wold, Moore et al. 2006, 532; Ilyashuk, Ilyashuk, Dauvalter 2003,

226–227; Гремячих, Томилина, Гребенюк 2009, 96). Таким образом, встречаемость личинок хирономид рр. *Chironomus* с тяжелыми деформациями головных капсул на большей части станций в озере Кенон не достигала минимального порога среднего уровня загрязнения. По этому критерию состояние большей части озера Кенон соответствует фоновому либо уровню слабого токсического загрязнения. Сказанное относится и к части станций группы «ТЭЦ». В то же время на станциях 1.1 и 1.4 группы «ТЭЦ» встречаемость личинок хирономид с тяжелыми деформациями соответствует сильному токсическому загрязнению.

Согласно этапам развития экологического кризиса в гидроэкосистемах (Ilyashuk, Ilyashuk, Dauvalter 2003) состояние экосистемы озера Кенон на условно фоновых станциях в связи с отсутствием здесь личинок хирономид с морфологическими деформациями можно отнести к этапу ранних нарушений либо этапу стресса на физиологическом уровне этапа прогрессирующего кризиса. В зоне влияния ТЭЦ в связи с обнаруженными здесь ли-

Таблица 2

Встречаемость личинок рр. *Chironomus* с тяжелыми деформациями головных капсул в озере Кенон

Table 2

Occurrence of *Chironomus* genus larvae with severe deformities of the head capsule in Lake Kenon

Станция	Деформации	Количество личинок с деформациями	Встречаемость личинок с деформациями, %
Станции группы «ТЭЦ»			
1, 2010 г.	–	–	0
1, 2012 г.	–	–	0
1.1	Отсутствие бокового зубца ментума	2 (рис. 2.2)	24
	Добавочный зубец ментума, сплавление первого и второго боковых зубцов ментума, искажение формы центрального зубца ментума, асимметрия ментума	1 (рис. 2.6)	
	Отсутствие двух боковых зубцов ментума, сплавление первого и второго боковых зубцов ментума	1 (рис. 2.3)	
1.3	Отсутствие боковых зубцов ментума	2 (рис. 2.4)	3
1.4	Отсутствие срединного и бокового зубца ментума	1 (рис. 2.5)	22
	Отсутствие бокового зубца ментума	1	
1.5	Сплавление первого и второго боковых зубцов ментума	2	4
1.6	–	–	0
1.2	–	–	0
Условно фоновые станции			
5	–	–	0
3	–	–	0
2	–	–	0
4	–	–	0
2.1	–	–	0

чинками с тяжелыми морфологическими деформациями, в том числе такими, как отсутствие срединного зубца ментума и асимметрия ментума, состояние экосистемы озера Кенон соответствует этапу стресса на генетическом уровне этапа прогрессирующего кризиса экосистемы.

Деятельность Читинской ТЭЦ-1 наряду с тепловым загрязнением озера привела к созданию нехарактерной для донных отложений озера Кенон техногенной аномалии с высокими концентрациями токсических

элементов. В 2012 г. вблизи ТЭЦ-1 в донных отложениях озера отмечены экстремально высокие концентрации Zn, Mo, Pb и Cd, в донных макроводорослях — многократное превышение средних по Забайкальскому краю концентраций Zn, Cu и других элементов (Tsybekmitova, Kuklin, Tsyganok 2019). Выявленные тяжелые деформации ротовых органов головных капсул личинок хирономид рр. *Chironomus*, отобранных в районе ТЭЦ, согласуются с уродствами, обнаруженными (Клишко,

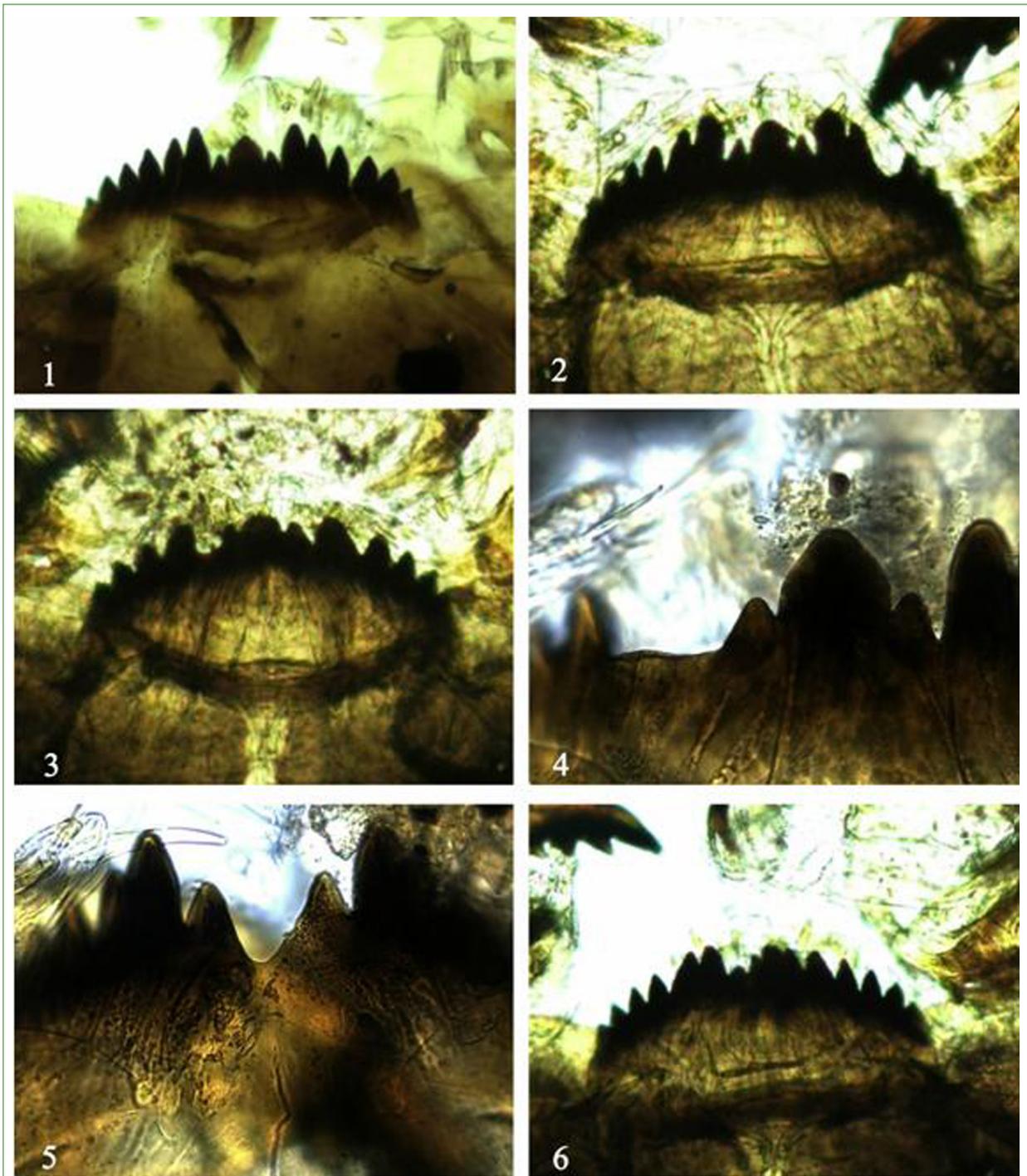


Рис. 2. Ментум личинок рода *Chironomus* из озера Кенон
Fig. 2. Mentum of the *Chironomus* genus larvae from Lake Kenon

Авдеев, Зазулина и др. 2005) у двустворчатых моллюсков из этой части озера, и могут быть следствием наличия вблизи ТЭЦ геохимической аномалии. Возможно, что, как и в случае с двустворчатыми моллюсками (Клишко, Авдеев, Зазулина и др. 2005; Клишко, Авдеев, Голубева 2007), для личинок рр. *Chironomus* опасность здесь

представляют высокие концентрации Cu, Zn и Cd и других токсических элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произошедшее накопление в донных отложениях водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 токсических элементов, возможное поступление токсических веществ с водо-

сборной территории в будущем, а также наличие у личинок хирономид тяжелых морфологических деформаций определяют, на наш взгляд, необходимость регулярных, раз в пять лет, исследований токсичности донных отложений и встречаемости личинок хирономид с тяжелыми морфологическими деформациями на всей акватории озера Кенон. В зоне наибольшего влияния ТЭЦ-1 необходимо выполнить подробные комплексные исследования, направленные на выявление возможной связи морфологических деформаций у различных видов организмов с содержанием в донных отложениях и теле организмов токсических веществ.

В целях недопущения дальнейшего развития кризиса экосистемы озера Кенон

при разработке программ по сохранению и восстановлению экосистемы озера, учитывая ее современное состояние, приоритет следует отдавать профилактическим мероприятиям, направленным на исключение токсического загрязнения озера, в первую очередь со стороны объектов ТЭЦ-1.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках Проекта IX.137.1.3 «Биоразнообразие природных и природно-техногенных экосистем Забайкалья (Центральной Азии) как индикатор динамики региональных изменений климата», № госрегистрации АААА-А17-117011210078-9.

Литература

- Гребенюк, Л. П., Томилина, И. И. (2014) Морфологические деформации сильнохитинизированных структур ротового аппарата личинок рода *Chironotus* (Diptera, Chironomidae) как показатель органического загрязнения пресных водоёмов. *Биология внутренних вод*, № 3, с. 79–91. DOI: 10.7868/S0320965214030097
- Гремячих, В. А., Томилина, И. И., Гребенюк, Л. П. (2009) Влияние хлорида ртути на морфофункциональные показатели личинок *Chironotus riparius* Meigen (Diptera, Chironomidae). *Биология внутренних вод*, № 1, с. 94–101.
- Итигилова, М. Ц., Чечель, А. П., Замана, Л. В. и др. (1998) *Экология городского водоема*. Новосибирск: Издательство СО РАН, 260 с.
- Клишко, О. К., Авдеев, Д. В., Голубева, Е. М. (2007) Особенности биоаккумуляции тяжелых металлов у моллюсков в аспекте оценки состояния окружающей среды. *Доклады академии наук*, т. 413, № 1, с. 132–134.
- Клишко, О. К., Авдеев, Д. В., Зазулина, В. Е., Борзенко, С. В. (2005) Роль хирономид (Diptera, Chironomidae) в биологической миграции химических элементов в экосистеме антропогенных водоемов. В кн.: *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 3*. Владивосток: ФНЦ Биоразнообразия РАН, с. 360–367.
- Усманова, Л. И. (2019) Гидрогеохимическая характеристика вод зоны влияния гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1. *Успехи современного естествознания*, № 11, с. 166–172.
- Хромов, В. М. (ред.). (2016) *Ежегодник состояния экосистем поверхностных вод России (по гидробиологическим показателям) за 2015 год*. М.: Росгидромет, 174 с.
- Цыбекмитова, Г. Ц. (2016) Качество фильтрационных вод золошлакоотвала ТЭЦ-1 и возможные пути их поступления в оз. Кенон (Забайкальский край). *Вода: химия и экология*, № 2 (92), с. 11–17.
- Шарапов, Н. М., Токарева, О. Ю. (2016) Проблемы водоснабжения ТЭС из природного водоема и пути их решения на примере озера Кенон в г. Чита (Забайкальский край). *Водоподготовка и водоотведение*, № 3 (99), с. 36–46.
- Di Veroli, A., Goretti, E., Paumen, M. L. et al. (2012) Induction of mouthpart deformities in chironomid larvae exposed to contaminated sediments. *Environmental Pollution*, vol. 166, pp. 212–217. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.03.029
- Di Veroli, A., Santoro, F., Pallottini, M. et al. (2014) Deformities of chironomid larvae and heavy metal pollution: From laboratory to field studies. *Chemosphere*, vol. 112, pp. 9–17. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.053

- Dickman, M., Rygiel, G. (1996) Chironomid larval deformity frequencies, mortality, and diversity in heavy-metal contaminated sediments of a Canadian riverine wetland. *Environment International*, vol. 22, no. 6, pp. 693–703. DOI: 10.1016/S0160-4120(96)00060-8
- Ilyashuk, B., Ilyashuk, E., Dauvalter, V. (2003) Chironomid responses to long-term metal contamination: A paleolimnological study in two bays of Lake Imandra, Kola Peninsula, northern Russia. *Journal of Paleolimnology*, vol. 30, pp. 217–230.
- Martinez, E. A., Moore, B. C., Schaumlöffel, J., Dasgupta, N. (2002) The potential association between menta deformities and trace elements in *Chironomidae* (Diptera) taken from a heavy metal contaminated river. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 42, pp. 286–291. DOI: 10.1007/s00244-001-0190-0
- Martinez, E. A., Wold, L., Moore, B. C. et al. (2006) Morphologic and growth responses in *Chironomus tentans* to arsenic exposure. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 51, pp. 529–536. DOI: 10.1007/s00244-005-0308-0
- Odume, O. N., Muller, W. J., Palmer, C. G., Arimoro, F. O. (2012) Mentum deformities in Chironomidae communities as indicators of anthropogenic impacts in Swartkops River. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vols. 50–52, pp. 140–148. DOI: 10.1016/j.pce.2012.08.005
- Tsybekmitova, G. Ts., Kuklin, A. P., Tsyganok, V. L. (2019) Heavy metals in bottom sediments of lake Kenon (the Trans-Baikal Territory, Russia). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 103, pp. 286–291. DOI: 10.1007/s00128-019-02645-7

References

- Di Veroli, A., Goretti, E., Paumen, M. L. et al. (2012) Induction of mouthpart deformities in chironomid larvae exposed to contaminated sediments. *Environmental Pollution*, vol. 166, pp. 212–217. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.03.029 (In English)
- Di Veroli, A., Santoro, F., Pallottini, M. et al. (2014) Deformities of chironomid larvae and heavy metal pollution: From laboratory to field studies. *Chemosphere*, vol. 112, pp. 9–17. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.053 (In English)
- Dickman, M., Rygiel, G. (1996) Chironomid larval deformity frequencies, mortality, and diversity in heavy-metal contaminated sediments of a Canadian riverine wetland. *Environment International*, vol. 22, no. 6, pp. 693–703. DOI: 10.1016/S0160-4120(96)00060-8 (In English)
- Grebenyuk, L. P., Tomilina, I. I. (2014) Morfologicheskie deformatsii sil'nokhitinizirovannykh struktur rotovogo apparata lichinok roda *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) kak pokazatel' organicheskogo zagryazneniya presnykh vodoemov [Morphological deformations of hard-chitinized mouthpart structures in larvae of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) as the index of organic pollution in freshwater ecosystems]. *Biologiya vnutrennikh vod — Inland Water Biology*, no. 3, pp. 79–91. DOI: 10.7868/S0320965214030097 (In Russian)
- Gremyachikh, V. A., Tomilina, I. I., Grebenyuk, L. P. (2009) Vliyanie khlorida rtuti na morfofunktsional'nye pokazateli lichinok *Chironomus riparius* Meigen (Diptera, Chironomidae) [The effect of mercury chloride on morphofunctional parameters in *Chironomus riparius* Meigen (Diptera, Chironomidae) larvae]. *Biologiya vnutrennikh vod — Inland Water Biology*, no. 1, pp. 94–101. (In Russian)
- Ilyashuk, B., Ilyashuk, E., Dauvalter, V. (2003) Chironomid responses to long-term metal contamination: A paleolimnological study in two bays of Lake Imandra, Kola Peninsula, northern Russia. *Journal of Paleolimnology*, vol. 30, pp. 217–230. (In English)
- Itigilova, M. Ts., Chechel', A. P., Zamana, L. V. et al. (1998) *Ekologiya gorodskogo vodoema [Ecology of a city reservoir]*. Novosibirsk: SO RAN Publ., 260 p. (In Russian)
- Khromov, V. M. (ed.). (2016) *Ezhegodnik sostoyaniya ekosistem poverkhnostnykh vod Rossii (po gidrobiologicheskim pokazatelyam) za 2015 god [The yearbook of the state of Russia's surface water ecosystems by hydrobiological indicators for 2015]*. Moscow: Rosgidromet Publ., 174 p. (In Russian)
- Klishko, O. K., Avdeev, D. V., Golubeva, E. M. (2007) Osobennosti bioakkumulyatsii tyazhelykh metallov u mollyuskov v aspekte otsenki sostoyaniya okruzhayushchej sredy [Specific features of bioaccumulation of heavy metals in mollusks within the scope of assessment of the environmental state]. *Doklady akademii nauk*, vol. 413, no. 1, pp. 132–134. (In Russian)
- Klishko, O. K., Avdeev, D. V., Zazulina, V. E., Borzenko, S. V. (2005) Rol' khironomid (Diptera, Chironomidae) v biologicheskoy migratsii khimicheskikh elementov v ekosisteme antropogennykh

- vodoemov [Chironomid (Diptera, Chironomidae) part of biological migration of chemical elements in anthropogenic water-bodies ecosystems]. In: *Chtenia pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova [Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings]*. Vol. 3. Vladivostok: Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity Publ., pp. 360–367. (In Russian)
- Martinez, E. A., Moore, B. C., Schaumloffel, J., Dasgupta, N. (2002) The potential association between menta deformities and trace elements in *Chironomidae* (Diptera) taken from a heavy metal contaminated river. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 42, pp. 286–291. DOI: 10.1007/s00244-001-0190-0 (In English)
- Martinez, E. A., Wold, L., Moore, B. C. et al. (2006) Morphologic and growth responses in *Chironomus tentans* to arsenic exposure. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 51, pp. 529–536. DOI: 10.1007/s00244-005-0308-0 (In English)
- Odume, O. N., Muller, W. J., Palmer, C. G., Arimoro, F. O. (2012) Mentum deformities in Chironomidae communities as indicators of anthropogenic impacts in Swartkops River. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vols. 50–52, pp. 140–148. DOI: 10.1016/j.pce.2012.08.005 (In English)
- Sharapov, N. M., Tokareva, O. Yu. (2016) Problemy vodosnabzheniya TES iz prirodnogo vodoema i puti ikh resheniya na primere ozera Kenon v g. Chita (Zabajkal'skij kraj) [Problems of water supply natural reservoir of the TPP and their solutions on the example of the lake Kenon in Chita (Chita region)]. *Vodopodgotovka i vodootvedenie*, no. 3 (99), pp. 36–46. (In Russian)
- Tsybekmitova, G. Ts. (2016) Kachestvo fil'tratsionnykh vod zoloshlakootvala TETs-1 i vozmozhnye puti ikh postupleniya v oz. Kenon (Zabajkal'skij kraj) [Filtration water quality of ash dump TPP-1 and possible ways of their stream into the Kenon Lake (Zabaikalsky krai)]. *Voda: khimiya i ekologiya — Water: Chemistry and Ecology*, no. 2 (92), pp. 11–17. (In Russian)
- Tsybekmitova, G. Ts., Kuklin, A. P., Tsyganok, V. L. (2019) Heavy metals in bottom sediments of lake Kenon (the Trans-Baikal Territory, Russia). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 103, pp. 286–291. DOI: 10.1007/s00128-019-02645-7 (In English)
- Usmanova, L. I. (2019) Gidrogeokhimicheskaya kharakteristika vod zony vliyaniya gidrozolootvala Chitinskoj TETs-1 2019 [Hydrogeochemical characteristics of the waters of influenced zone of the Chita TPP-1 ash dump]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in current natural sciences*, no. 11, pp. 166–172. (In Russian)

Для цитирования: Матафонов, П. В., Шойдоков, А. Б. (2020) Оценка токсического загрязнения водоема-охладителя Читинской ТЭЦ-1 методом морфологических деформаций головных капсул личинок хирономид. *Амурский зоологический журнал*, т. XII, № 2, с. 201–210. DOI: 10.33910/2686-9519-2020-12-2-201-210
Получена 13 апреля 2020; прошла рецензирование 29 апреля 2020; принята 6 мая 2020.

For citation: Matafonov, P. V., Shoydokov, A. B. (2020) Toxic pollution assessment of Chita TPP-1 cooling reservoir by applying the method of head capsule morphological deformations in chironomid larvae. *Amurian Zoological Journal*, vol. XII, no. 2, pp. 201–210. DOI: 10.33910/2686-9519-2020-12-2-201-210

Received 13 April 2019; reviewed 29 April 2019; accepted 6 May 2019.