

The background of the cover is a photograph of a waterfall. The water is white and turbulent as it falls over dark, wet rocks. Two fish, likely salmon, are captured in mid-air, jumping out of the water. The surrounding area is lush with green moss and ferns, and some bare tree branches are visible in the upper part of the frame.

# **АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЕ ОРГАНИЗМЫ И ЭКОСИСТЕМЫ**

**МАТЕРИАЛЫ V ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ПО ВОДНОЙ ЭКОТОКСИКОЛОГИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ ПАМЯТИ Б. А. ФЛЕРОВА,  
С ПРИГЛАШЕНИЕМ СПЕЦИАЛИСТОВ  
ИЗ СТРАН БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ**

## **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

**ШКОЛА–СЕМИНАР ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ,  
АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

**ТОМ I**

**28 октября – 1 ноября 2014 г.**

**БОРОК  
2014**



А. И. Сидорова<sup>1</sup>, Н.М. Калинкина<sup>1</sup>, Н.А. Галибина<sup>2</sup>, К.М. Никерова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН  
185030 г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д.50, Россия

<sup>2</sup>Институт леса Карельского научного центра РАН,  
185910 г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, Россия, bolt-nastya@yandex.ru

Низкая выживаемость рачков *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg в фильтрах донных отложений из районов Онежского озера, загрязняемых сточными водами целлюлозно-бумажного производства, связана с высоким содержанием в илах общей серы и лигносульфонатов (компонентов переработки древесины).

**Ключевые слова:** донные отложения, биотестирование, ракообразные, Онежское озеро

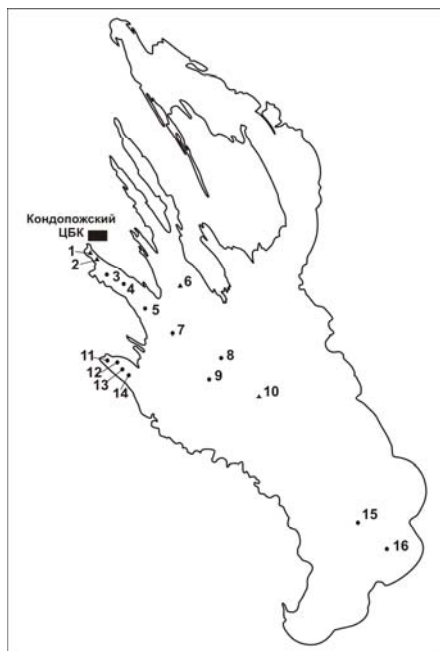
Онежское озеро, одно из двух крупнейших озер Европы, характеризуется высокой гетерогенностью. В северной части водоема располагаются глубоко вдающиеся в сушу заливы, испытывающие наибольшее антропогенное воздействие. В то же время центральная глубоководная часть Онежского озера сохраняет высокое качество воды. К наиболее загрязненным заливам относится Кондопожская губа. В вершинной ее части располагается Кондопожский целлюлозно-бумажный комбинат, который более 80 лет сбрасывает в залив сточные воды. В их составе присутствуют органические вещества, при этом лигносульфонат натрия (продукт варки древесины) является основным компонентом и достигает наибольших концентраций – до 200 мг/л. Кроме того, в составе сточных вод отмечены такие токсиканты, как фенол и фурфурол. Среди серосодержащих веществ отмечаются сульфаты, сульфиты, тиосульфаты, сульфиды (компоненты варочного щелока), а также фосфор, добавляемый в сточные воды на стадиях их очистки [1]. В результате поступления сточных вод в залив произошли серьезные изменения, которые в наибольшей степени затронули донные сообщества вплоть до формирования в вершинной части мертвой зоны [2].

Одним из методов оценки экологической ситуации в водоемах является биотестирование донных отложений [3]. Изучение токсичности донных осадков Онежского озера началось в 1999 г. и проводится в настоящее время [4]. Согласно данным за 2012 г., в водных вытяжках из донных отложений, отобранных в Кондопожской губе, наблюдалась гибель тест-объектов. Однако причины высокой токсичности донных отложений оставались неизвестными. Их рассмотрение явилось целью настоящей работы. Для достижения цели решали следующие задачи: выполнить биотестирование водных вытяжек из донных отложений Онежского озера с использованием в качестве тест-объектов ветвистоусых рачков *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg; выполнить химический анализ донных отложений по показателям – общее содержание серы, органический углерод, лигносульфонат натрия; на основе изучения связей между токсикологическими и химическими показателями выявить причины токсичности донных отложений.

Пробы донных отложений отбирали в сентябре 2013 г. в различных районах Онежского озера с помощью дночерпателя Экмана-Берджи площадью захвата 225 см<sup>2</sup> на 16 станциях с глубинами 14–98 м. Станции 1, 2, 3, 4 и 5 располагаются в пределах Кондопожской губы; станции 6 и 7 – в Большом Онего; станции 8, 9 и 10 – в центральном Онего; станции 11, 12, 13 и 14 – в Петрозаводской губе; станции 15 и 16 – в Южном Онего (рис.). Для токсикологических и химических исследований отбирали верхний 2-см слой донных осадков. Для токсикологических опытов донные отложения каждой пробы пропускали через сито с ячейкой размером 2x2 мм. Затем илы помещали в сосуды объемом 200 мл, в которые добавляли чистую воду в объемном соотношении 1:1, собранную в Онежском озере на контрольной станции без источников загрязнения. Время стабилизации составило 7 сут. Затем сливали надосадочную жидкость, фильтровали ее через фильтры «Белая лента» и проводили биотестирование. В качестве тест-объекта послужил стандартный в токсикологических исследованиях вид *Ceriodaphnia affinis*, культура которого была нам любезно предоставлена в 2009 г. Ириной Васильевной Чаловой, старшим научным сотрудником Института биологии внутренних вод РАН им. И.Д. Папанина. Время экспозиции с рачками – 7 сут. Все опыты проводили при температуре воды 18–22° С.

Содержание органического углерода в донных отложениях определяли по методу Тюрина [5], общую серу - модифицированным методом Ринькинса [6]. Количество лигносульфонатов в пробах определяли спектрофотометрическим методом по реакции с азотной кислотой [7]. Для выхода лигносульфонатов в раствор навеску ила 0.2 г растворяли в дистиллированной воде в мерных

колбах на 50 мл и оставляли на 15-17 часов. К 1 мл раствора лигносульфоната добавляли 0.3 мл 14 % азотной кислоты и термостатировали в течение 15 минут при 80° С. Оптическую плотность продуктов реакции определяли при 340 нм. Содержание органического углерода, общей серы и лигносульфонатов представлены в процентах на сухой вес донных отложений.



**Рис.** Расположение станций отбора проб донных отложений в Онежском озере в 2013 г. Треугольниками отмечены станции (1, 2, 6 и 10), на которых были обнаружены токсичные илы.

По результатам биотестирования, наибольшую токсичность проявили водные фильтраты донных отложений, отобранных из Кондопожской губы (станции 1 и 2), а также сопредельного с заливом района Большое Онего (станция 6) (табл. 1, рис.). Выживаемость цериодафний в этих пробах варьировала в пределах 0-20%. Сходные данные, отражающие высокую токсичность донных отложений в Кондопожской губе, были получены нами в более ранних исследованиях. Однако впервые в 2013 г. низкая выживаемость (50%) была отмечена и в фильтратах донных отложений, отобранных из центрального района Онежского озера (станция 10).

**Таблица 1.** Показатели выживаемости *C. affinis* в фильтратах и химический состав донных отложений Онежского озера

Район	Номер станции	Глубина, м	V, %	pH фильтрата	Сорг., %	S, %	ЛСН, %
КГ	1	14	0	7.43	37.77	0.24	0,065659
КГ	2	26	13	5.82	24.5	0.38	0
КГ	3	35	100	6.87	11.36	0.3	0
КГ	4	80	90	6.22	11.33	0.17	0,143711
КГ	5	42	100	6.53	8.5	0.12	0
БО	6	98	20	5.53	11.79	0.31	0,22802
БО	7	42	100	6.62	6.4	0.08	0
ЦО	8	80	100	6.16	9.27	0.08	0
ЦО	9	43	100	6.63	10.2	0.13	0
ЦО	10	58	50	5.93	10.24	0.39	0
ПГ	11	26	100	7.30	7.1	0.11	0
ПГ	12	15	100	6.60	7.97	0.2	0
ПГ	13	28	100	6.37	6.28	0.15	0
ПГ	14	28	100	6.61	9.34	0.13	0
ЮО	15	33	100	7.42	3.64	0.07	0
ЮО	16	27	100	7.51	6.12	0.07	0

Примечание: КГ – Кондопожская губа, БО – Большое Онего, ЦО – центральное Онего, ПГ – Петрозаводская губа, ЮО – Южное Онего; V – выживаемость *C. affinis* в фильтратах; Сорг. – органический углерод; S – общая сера; ЛСН – лигносульфонат натрия.

Выживаемость рачков была наиболее низкой в фильтратах с наименьшими значениями рН. Так, в пробах 2, 6 и 10 активная реакция среды варьировала в пределах 5.53-5.93. Лишь проба 1 составила исключение: хотя в фильтрате произошла полная гибель рачков, величина рН тестируемого фильтрата составила 7.43.

Для выяснения причин токсичности фильтратов к матрице данных, включающей результаты токсикологических экспериментов и химического анализа донных отложений, был применен метод главных компонент. Две первых компоненты вместе отразили 78% общей изменчивости признаков, что свидетельствует о высокой корреляции между признаками (табл. 2).

**Таблица 2.** Вклад основных признаков в значения главных компонент

Признак	Первая компонента	Вторая компонента
Глубина, м	-0.51	0.80*
V	0.86*	0.44
рН фильтрата	0.69	-0.49
Сорг.	-0.59	-0.72*
S	-0.80*	-0.26
ЛСН	-0.71*	0.37
Доля в общей дисперсии, %	49	29

Примечание: обозначения признаков – см. таблицу 2; \* - достоверный вклад ( $p=0.05$ )

В первую главную компоненту наибольший достоверный вклад внесли показатели выживаемости и содержание серы в донных отложениях, затем – концентрация лигносульфоната. С этими химическими показателями выживаемость рачков связана обратной связью. Следовательно, соединения серы, во-первых, в сульфатной форме, оседающей на дно из сточных вод комбината, а, во-вторых, в органической форме (в составе лигносульфонатов), обуславливают токсичность фильтратов донных отложений со станций 1, 2, 6 и 10. Соединения серы в илах определяют и повышенную кислотность их фильтратов. Фильтраты из илов со станции 1, несмотря на высокое содержание в них серы, характеризуются слабощелочной реакцией. Это может быть объяснено присутствием здесь каких-либо веществ, оказывающих подщелачивающее воздействие на фильтраты (например, натрия, соли которого используются при варке древесины). Высокую токсичность фильтратов из илов со станции 1 определили, по-видимому, ядовитые компоненты разложения древесины (фенолы, фурфурол), которые в наибольших концентрациях отмечены именно в вершинной части Кондопожской губы.

Во вторую главную компоненту с достоверными вкладами вошли показатели глубины и содержания органического углерода, между которыми отмечается обратная связь. Это отражает накопление органического вещества антропогенного происхождения в зонах с относительно небольшими глубинами (14–26 м), прилегающих к месту сброса сточных вод комбината (станции 1, 2, 3 и 4). В целом зависимость между глубиной и содержанием в донных отложениях органического углерода носит нелинейный характер, что отражает влияние на процессы накопления и антропогенного, и природных факторов.

Таким образом, исследования 2013 г. показали, что на дне Кондопожской губы, в вершинной ее части, загрязняемой отходами целлюлозно-бумажного комбината, стойко сохраняется неблагоприятная зона, в пределах которой донные отложения характеризуются высокой токсичностью. Главной причиной токсичности являются серосодержащие соединения как органической, так и неорганической природы. Впервые выявлено проявление токсических свойств донных отложений за пределами Кондопожской губы (районы Большого Онего и Центрального Онего), что может быть связано с выносом загрязняющих веществ и их постепенным накоплением в глубоководных участках озера.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00766).*

#### Список литературы

1. Сабылина А.В., Рыжаков А.В. Химический состав воды озера // Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998-2006 гг.– Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2007.– С. 29–40.
2. Полякова Т.Н. Донные ценозы в условиях антропогенного эвтрофирования // Онежское озеро. Экологические проблемы.– Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН. 1999.– С. 211–227.
3. Томилина И.И., Комов В.Т. Оценка токсичности грунтов озер Дарвинского заповедника // Информационный бюллетень. Биология внутренних вод.– 1996.– № 100.– С. 62–65.

4. Калинкина Н.М., Березина Н.А., Сидорова А.И., Белкина Н.А., Морозов А.К. Биотестирование токсичности донных отложений крупных водоемов Северо-запада России с использованием ракообразных // Водные ресурсы.– 2013.– Т.40, № 6.– С.612–622.
5. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв.– М.: Изд-во МГУ, 1970.– 487 с.
6. Ринькис Г. Я., Рамане Х. К., Куницкая Т. А. Методы анализа почв и растений.– Рига: Зинатне, 1987.– 174 с.
7. Khabarov Yu. G. Use of nitric acid for determination of lignosulfonates // Russian Journal of Applied Chemistry.– 2004.– Vol. 77, No. 5.– P. 858–860.