

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ИБВВ РАН



Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

ВЫПУСК 107(110)

2024

ИЮЛЬ–СЕНТЯБРЬ

Выходит 4 раза в год

п. Борок

2024

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES



IBIW RAS



Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS

ISSUE 107(110)

2024

JULY–SEPTEMBER

The journal is published quarterly

Borok

2024

УДК 574(28)

ББК 28.081

T78

Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. — Борок : ИБВВ РАН — 2024. — Вып. 107(110) — 64 с.

Выпуск посвящен 50-летию лаборатории физиологии и токсикологии водных животных ИБВВ РАН. Приведены сведения по истории создания, преобразования, научный состав, руководители лаборатории физиологии и токсикологии водных животных начиная с ее образования до настоящего времени. В выпуск вошли статьи, посвященные экспериментальному изучению различных аспектов физиологии, биохимии и иммунологии гидробионтов при действии токсикантов. Внимание уделено и основным методическим подходам к разработке региональных ПДК.

Издание предназначено для гидробиологов, экологов, экотоксикологов и широкого круга специалистов в области охраны и использования водных ресурсов, а также аспирантов и студентов биологических, экологических и других естественнонаучных специальностей.

Редакционная коллегия:

С. А. Поддубный (гл. редактор), д.г.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

А. В. Крылов (зам. гл. редактора), д.б.н., проф., ИБВВ РАН, Борок, Россия

А. А. Бобров, к.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Б. К. Gabrielyan, д.б.н., проф., НАН РА НЦ ЗГЭ, Ереван, Армения

Ю. В. Герасимов, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

А. Н. Дзюбан, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Хай Доан Нё, д.ф., Институт океанографии, ВАНТ, Нячанг, Вьетнам

В. Т. Комов, д.б.н., проф., ИБВВ РАН, Борок, Россия

В. И. Лазарева, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Н. М. Минеева, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Лам Нгуен Нгок, д.ф., проф., Институт океанографии, ВАНТ, Нячанг, Вьетнам

К. Робинсон, д.ф., EAWAG, Цюрих, Швейцария

В. П. Семенченко, д.б.н., чл.-кор. НПЦ НАН по биоресурсам, Минск, Беларусь

И. Л. Голованова, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Ю. С. Даценко, д.г.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

М. М. Трофимчук, к.б.н., Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия

Ответственные редакторы: **Г. М. Чуйко, И. И. Томилина**

Ответственный секретарь **А. А. Сажнева**

ISSN 0320-3557 Print
ISSN 2712-8377 Online

Учредитель (адрес): Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109, ИБВВ РАН; Телефон/факс: (48547)24042; e-mail: adm@ibiw.ru).

Издатель (адрес): Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109, ИБВВ РАН; Телефон/факс: (48547)24042; e-mail: adm@ibiw.ru).

Адрес редакции: 152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н,
ИБВВ РАН
тел./факс (48547) 2-48-09; e-mail: trud@ibiw.ru

© ИБВВ РАН, 2024 г.

The issue is dedicated to the 50th anniversary of the Laboratory of Physiology and Toxicology of Aquatic Animals of the Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences. It provides information on the history of its creation, transformation, scientific staff, and heads of the Laboratory from its inception to the present day. This issue of the journal presents papers devoted to the experimental study of various aspects of physiology, biochemistry, and immunology of hydrobionts under the influence of toxicants. Attention is also paid to the main methodological approaches to the development of regional maximum permissible concentrations.

The publication is intended for hydrobiologists, ecologists, ecotoxicologists, and specialists in the field of protection and use of water resources, as well as students and postgraduates of the faculties of biology and environment.

Editorial board:

S. A. Poddubny (editor), Dr. of geogr., IBIW RAS, Borok, Russia
A. V. Krylov (deputy editor), Dr. of biol., prof., IBIW RAS, Borok, Russia
A. A. Bobrov, PhD., IBIW RAS, Borok, Russia
Hai Doan Nhu, PhD., Institute of Oceanography, VAST, Nha Trang, Vietnam
A. N. Dzuban, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
B. K. Gabrielyan, Dr. of biol., prof., SC ZHE NAS RA, Yerevan, Armenia
Yu. V. Gerasimov, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
V. T. Komov, Dr. of biol., prof., IBIW RAS, Borok, Russia

V. I. Lazareva, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
N. M. Mineeva, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
Lam Nguyen Ngoc, PhD., prof., Institute of Oceanography, VAST, Nha Trang, Vietnam
C. Robinson, PhD., EAWAG, Zurich, Switzerland
V. P. Semchenko, Dr. of biol., corr. member NASB, Minsk, Belar
I. L. Golovanova, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
Y. S. Datsenko, Dr. of geogr., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
M. M. Trofimchuk, Ph.D., Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia

Editors-in-chief of the volume: **G. M. Chuiko, I. I. Tomilina**

Coordinating editor: **A. A. Sazhneva**

ISSN 0320-3557 Print
ISSN 2712-8377 Online

Founder (address): Federal State Budgetary Scientific Institution, the Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences (152742, Yaroslavl oblast, Nekouz region, Borok, 109, IBIW RAS;
Phone/fax: (48547)24042; *e-mail:* adm@ibiw.ru).

Publisher (address): Federal State Budgetary Scientific Institution, the Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences (152742, Yaroslavl oblast, Nekouz region, Borok, 109, IBIW RAS;
Phone/fax: (48547)24042; *e-mail:* adm@ibiw.ru).

Editorial address: 152742, Borok, Yaroslavl region, Nekouz district,
IBIW RAS
tel./fax (48547) 2-48-09; *e-mail:* trud@ibiw.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Г. М. Чуйко, И. И. Томила

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИТОГИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИОЛОГИИ И ТОКСИКОЛОГИИ ВОДНЫХ ЖИВОТНЫХ
ЗА 50 ЛЕТ (1973–2023 гг.) 7

*А. А. Филиппов, И. Л. Голованова, Е. А. Куливацкая, В. А. Подгорная, А. К. Смирнов,
Г. М. Чуйко, В. В. Крылов, Д. Э. Котиков, В. Т. Комов*

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕРМАЛЬНОГО СТРЕССА
НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОДИ КАРАСЯ
CARASSIUS GIBELIO С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ РТУТИ 18

И. М. Королева, Е. А. Заботкина

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ГЕМОПОЭЗ ОБЫКНОВЕННОГО
СИГА *COREGONUS LAVARETUS* (L.) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ОЗЕРА ИМАНДРА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) 30

Е. О. Попова, М. В. Медянкина, А. Г. Тригуб

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ К РАЗРАБОТКЕ
НОРМАТИВОВ ПДК ДЛЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ЗНАЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ИХ ПРИРОДНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ 36

Н. В. Холмогорова

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАЛОЙ РЕКИ В ЗОНЕ
ВЛИЯНИЯ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОЗАВОДА МЕТОДАМИ БИОДИАГНОСТИКИ .. 42

Е. А. Заботкина, Д. Ю. Трофимов, Г. М. Чуйко, М. В. Медянкина

ВЛИЯНИЕ СУБЛЕТАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДИМЕТИЛДИСУЛЬФИДА НА
ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛОВОЗРЕЛЫХ ОСОБЕЙ *DANIO RERIO* .. 52

Памяти наших коллег

Г. М. Чуйко, И. И. Томила

К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ДМИТРИЯ ФЕДОРОВИЧА ПАВЛОВА
(1954–2022 гг.) 61

CONTENTS

G. M. Chuiko, I. I. Tomilina

THE HISTORY OF CREATION AND THE MAIN RESULTS OF SCIENTIFIC ACTIVITY
OF THE LABORATORY OF PHYSIOLOGY AND TOXICOLOGY OF AQUATIC
ANIMALS FOR 50 YEARS (1973–2023) 7

*A. A. Filippov, I. L. Golovanova, E. A. Kulivatskaya, V. A. Podgornaya, A. K. Smirnov,
G. M. Chuiko, V. V. Krylov, D. E. Kotikov, V. T. Komov*

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELD AND THERMAL STRESS ON
PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF JUVENILE CRUCIAN
CARP *CARASSIUS GIBELIO* WITH DIFFERENT MERCURY CONTENT 18

I. M. Koroleva, E. A. Zabolotkina

HEMATOLOGICAL CHARACTERISTICS AND HEMOPOIESIS OF COMMON
WHITEFISH *COREGONUS LAVARETUS* (L.) UNDER CONDITIONS OF INDUSTRIAL
POLLUTION OF LAKE IMANDRA WATERS (MURMANSK REGION) 30

E. O. Popova, M. V. Medyankina, A. G. Trigub

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF MPC STANDARDS
FOR WATER BODIES OF FISHERY IMPORTANCE, TAKING INTO ACCOUNT THEIR
NATURAL FEATURES 36

N. V. Kholmogorova

ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF A SMALL RIVER
IN THE INFLUENCE ZONE OF DAIRY PLANT WASTEWATER BY BIODIAGNOSTICS
METHODS 42

E. A. Zabolotkina, D. Yu. Trofimov, G. M. Chuiko, M. V. Medyankina

EFFECT OF SUBLETAL CONCENTRATIONS OF DIMETHYL DISULFIDE
ON HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF MATURE *DANIO RERIO* 52

In Memory of Our Colleagues

G. M. Chuiko, I. I. Tomilina

ON THE 70th ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF DMITRY FEDOROVICH PAVLOV
(1954–2022 years) 61

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАЛОЙ РЕКИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОЗАВОДА МЕТОДАМИ БИОДИАГНОСТИКИ

Н. В. Холмогорова *

Удмуртский государственный университет,
426034 г. Ижевск, ул. Университетская, 1; e-mail: *nadjaholm@mail.ru

Поступила в редакцию 26.07.2024

Проведена биодиагностика состояния р. Ува, находящейся под влиянием стоков молокозавода. Биоиндикацию проводили по показателям макрозообентоса. Всего отмечено 129 видов и таксонов более высокого ранга макрозообентоса. На участке ниже сброса сточных вод наблюдается резкое сокращение биоразнообразия, снижение показателей: индекса Шеннона, выравнинности по Пиелу, ЕРТ, TBI, BMWP. Одновременно зарегистрировано повышение роли олигохет в сообществе (индекс Гуднайта-Уитлея) и значительный рост численности (до 40.5 тыс. экз./м²) и биомассы макрозообентоса (до 155 г/м²). Показатели индекса сапробности менялись от 1.7 до 7.0. В верхнем течении формируется β-мезосапробная зона, в среднем течении диапазон индекса сапробности от 1.89 до 7, что соответствует β-мезосапробной, α-мезосапробной и полисапробной зонам. В нижнем течении происходит восстановление показателей сапробности до β-мезосапробной зоны. Биотестирование водной вытяжки донных отложений на люминесцентных бактериях тест-системой “Эколюм” показало острую токсичность на двух станциях, расположенных ниже выпуска сточных вод. Выявлена зона экологического бедствия, которая формируется ниже выпуска сточных вод молокозавода в п. Ува и простирается примерно на 25 км вниз по течению.

Ключевые слова: малые реки, макрозообентос, биодиагностика, биоиндикация, биотестирование, Удмуртская Республика.

DOI: 10.47021/0320-3557-2024-42-51

ВВЕДЕНИЕ

На территории Удмуртии работает девять предприятий по переработке молока. С каждым годом производство молочной продукции наращивается. В связи с огромным спросом на продукты молочной промышленности и ростом числа предприятий, занятых в отрасли, растет и негативное влияние, оказываемое ими на окружающую среду.

По содержанию загрязнителей сточные воды предприятий молочной промышленности в 5–10 раз более загрязнены, чем хозяйственно-бытовые стоки, и при сбросе без очистки представляют значительную опасность для окружающей среды [Забалухина, 1984 (Zabalukhina, 1984)]. В сточных водах молочных заводов в связи с особенными технологическими процессами содержится огромное количество различных органических соединений — белков, жиров, молочного сахара, обусловленных потерей сырья и образованием отходов. Особенно велика концентрация органических соединений при изготовлении сыров и творожных продуктов [Сергеев, 2004 (Sergeev, 2004)]. Специфическим компонентом сточных вод данных предприятий является молочная сыворотка. Одна тонна сыворотки, слитая в сточные воды, загрязняет водоем так же, как 100 тонн хозяйственно-бытовых вод [Забалухина, 1984 (Zabalukhina, 1984)]. Кроме того, в сточных водах содержатся неорганические соединения: остатки дезинфицирующих и моющих средств,

а также соединения металлов [Сергеев, 2004 (Sergeev, 2004)].

Перечисленные выше загрязнители, попадая в природные воды, вызывают изменения физических свойств среды (нарушение первоначальной прозрачности и окраски, появление неприятных запахов и привкусов и т.п.); изменение химического состава, в частности появления в ней вредных веществ; появление плавающих веществ на поверхности воды и отложений на дне. Окисление органических веществ приводит к резкому снижению концентрации растворенного кислорода в воде. Донная фауна, которая очень чувствительна к дефициту кислорода, погибает. В донных отложениях повышается концентрация органических веществ, что увеличивает процессы деструкции с образованием газообразных продуктов: метана, сероводорода, аммиака. Высокая концентрация жиров способствует размножению нитчатых цианобактерий [Ковалева и др., 2020 (Kovaleva et al., 2020)]. В случае сброса стоков на городские сооружения биологической очистки происходит отравление вплоть до полного отмирания активного ила, он тоже становится загрязнителем, что фактически является экологической катастрофой для небольших водоемов [Семенов, Луговкин, 2020 (Semenov, Lugovkin, 2020)].

Река Ува — правый приток р. Вятки третьего порядка, относится к Камскому речному бассейну и берет начало из родника в Увинском

р-не Удмуртской Республики. Общая длина реки 112 км, площадь бассейна 1230 км². Средний уклон 0.9 м/км. Ширина русла в среднем течении 10–12 м, глубина на перекатах 0.4–1.2 м, на плесах до 2.0–2.5 м. Скорость течения не превышает 0.3 м/с. В низовьях ширина русла возрастает до 15–22 м, скорость увеличивается до 0.5 м/с. Расчетный среднегодовой расход воды в устье 5.5 м/с. На берегах р. Увы находятся два наиболее крупных населенных пункта рассматриваемой территории — пгт Ува и с. Вавож [Удмуртская..., 2008 (Udmurtskaya..., 2008)].

Начиная с 2010 г. на реке регулярно фиксируются заморы рыбы. Дно ниже места выпуска сточных вод молокозавода покрыто беловатым налетом, который в дальнейшем превращается в густую слизь, её разложение вызывает сильный неприятный запах и резко меняет химические показатели воды.

Проводимые регулярно химические анализы воды выявляют временное превышение ПДК по иону аммония, фосфат-иону, сульфат-иону, БПК₅, ХПК, взвешенным веществам, нефтепродуктам, общим фенолам и снижению концентрации растворенного кислорода. По сравнению с фоновым створом ниже точки

сброса значительно возрастает концентрация анионных поверхностно-активных веществ и появляются жиры. Сбросы носят залповый характер и химический анализ не всегда фиксирует антропогенную нагрузку на реку. Поэтому для объективной оценки состояния реки, принято решение провести биодиагностику методами биотестирования и биоиндикации по организмам макрозообентоса.

Цель исследования — оценить экологическое состояние р. Ува методами биотестирования и биоиндикации по организмам макрозообентоса.

Задачи:

1. Определить видовой состав донных макробеспозвоночных р. Ува;
2. Проследить динамику показателей численности и биомассы макрозообентоса от истока до устья;
3. Провести биоиндикацию по показателям макрозообентоса;
4. Провести биотестирование донных отложений с помощью биотеста “Эколюм”;
5. Выявить зоны экологического бедствия по результатам биодиагностики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор материала проводился автором с июня 2021 по август 2024 г. на р. Ува. Всего проведено 2 отбора проб по всей протяженности реки и 5 отборов на участке Ува–Вавож. Объем материала — 41 количественная проба макрозообентоса из 14 створов¹ (рис. 1).

Отбор проб проводили дночерпателем ДАК-100 или гидробиологическим скребком.

Животных выбирали сразу, фиксировали 70%-ным раствором этилового спирта. Для учета бентоса на гравийно-галечных грунтах использовали рамку, ограничивающую площадь дна 0.25 м², ниже по течению устанавливали скребок для отлова взмученных животных [Методические..., 1984 (Metodicheskie..., 1984)].

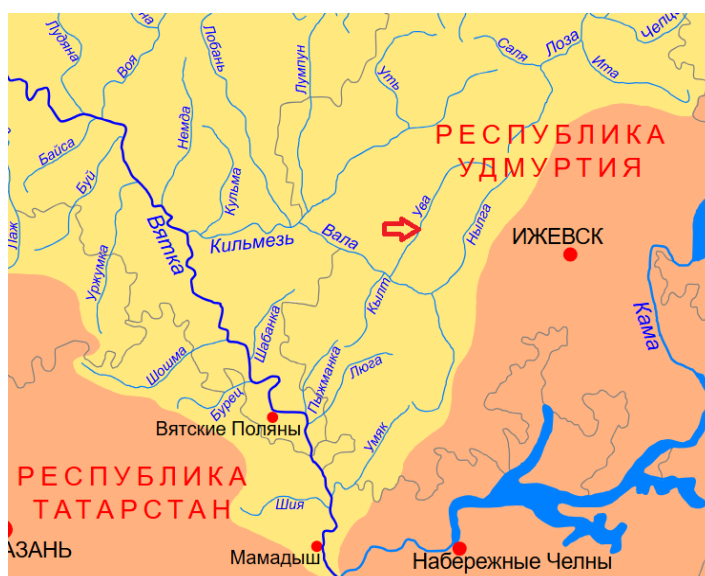
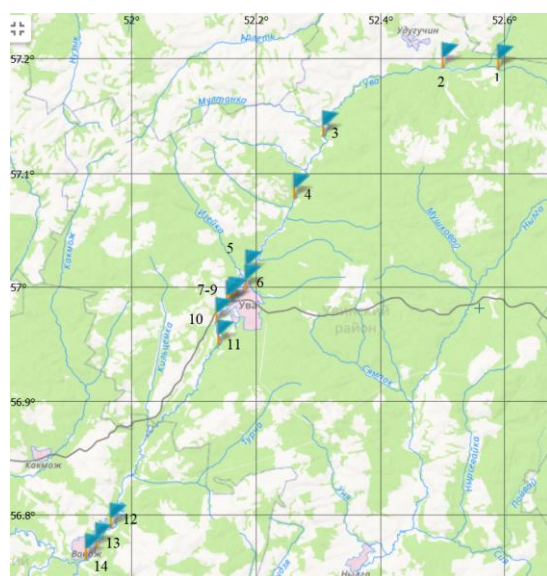


Рис. 1. Карта-схема р. Ува с указанием станций отбора проб.

Fig. 1. The schematic map of Uva River with indication of stations.

¹ <https://www.kosmosnimki.ru/?permlink=14LPV>

Параллельно со сбором бентоса проводили следующие гидрологические наблюдения:

- скорость течения измеряли поплавковым способом;
- минерализацию воды измеряли портативным TDS-метром;
- проективное покрытие макрофитов;
- тип донных отложений.

Для определения доли органических веществ в донных отложениях оценивали потери массы грунта при прокаливании в муфельной печи при $t = 900^{\circ}\text{C}$.

При камеральной обработке собранных материалов определяли видовой состав макрозообентоса, рассчитывали численность и биомассу, EPT Index [Plafkin et al., 1989], биотический индекс Вудивисса (индекс TBI) [Woodiwiss, 1964], Biological Monitoring Working Party (BMWP) [Leeds-Harrison et al., 1996], индекс сапробности по Пантле-Букку, олигохетный индекс Гуднайт-Уитлея, индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера и выравнинность сообщества по Пиелу [Шитиков и др., 2005 (Shitikov et al., 2005)].

Биотестирование донных отложений проводили на люминесцентных бактериях. Методика основана на определении изменения интенсивности биолюминесценции биосенсора при воздействии токсических веществ, присутствующих в анализируемой пробе, по сравнению с контролем. Люминесцентные бактерии оптимальным образом сочетают в себе различные типы чувствительных структур, ответственных за генерацию биоповреждений (клеточная мембрана, цепи метаболического обмена, генетический аппарат), с экспрессностью, объективным и количественным характером отклика целостной системы на интегральное воздействие токсикантов. Это обеспечивается тем, что люминесцентные бактерии содержат фермент люциферазу, осуществляющую эффективную трансформацию энергии химических связей жизненно важных метаболитов в световой сигнал на уровне, доступном для экспрессных и количественных измерений. Измерение токсичности

проводили в 2023 г. в лаборатории физиологии и токсикологии ИБВВ РАН в п. Борок Ярославской области на приборе серии “Биотокс-10” [Методические..., 2006 (Metodicheskie..., 2006)]. Оценку токсичности пробы проводили по относительному различию в интенсивности биолюминесценции контрольной и опытной проб и вычислению индекса токсичности “Т”. Люминометр “Биотокс-10” автоматически вычисляет величину индекса токсичности и параметры EC_{20} и EC_{50} . Средняя эффективная концентрация EC_{50} (median effective concentration) — это концентрация токсиканта в воде, вызывающая изменение тест-реакции тест-объектов на 50% при установленных условиях экспозиции в течение заданного срока наблюдений [ГОСТ Р 57455-2017 (GOST 57455-2017)].

По величине индекса токсичности и параметров ЕС анализируемые пробы классифицируются на три группы, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Оценка степени токсичности пробы [Методические..., 2006 (Metodicheskie..., 2006)]

Table 1. Assessment of the degree of toxicity of samples [Metodicheskie..., 2006]

Группы Groups	Величина индекса токсичности “Т” The value of the toxicity index “T”	Степень токсичности пробы The degree of toxicity of the sample
1	<20	допустимая степень токсичности
2	$20 \leq 49.99$	образец токсичен
3	≥ 50	высокая токсичность образца

Всего на токсичность проверено 8 проб донных отложений.

Для статистического анализа в связи с неподчинением экспериментальных данных закону “нормального” распределения использовались непараметрические методы сравнения для множественных переменных (Kruskal-Wallis ANOVA & Median test), ранговая корреляция Спирмена. Вычисления производились в программе Statistica 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика станций отбора проб представлена в таблице 2. По всей реке преобладают песчаные донные отложения с небольшими примесями ила, глины, гальки и детрита. Минерализация воды менялась по реке от 111 до 505 ppm. Доля органических веществ в грунте (потери при прокаливании) менялась в пределах от 0.5 до 5%, что по классификации В.П. Курдина [1959 (Kurdin, 1959)] соответствует пескам и заиленным пескам. Скорость

течения менялась в диапазоне от 0 до 1 м/с максимальная скорость потока отмечалась в среднем течении на участке Ува–Вавож. В с. Вавож р. Ува на расстоянии 2.5 км от устья зарегулирована гидротехническим сооружением. Среднее проективное покрытие макрофитов в верхнем течении составило 28.2%, в среднем течении — 8.8% и максимальное зарастание реки отмечено в нижнем течении — 61%. Резкое сокращение проективного покрытия

в среднем течении связано с воздействием сточных вод молокозавода, ниже сброса которых отмечена гибель водных растений (рде-стов, элодеи канадской), изредка встречаются останки растений желто-коричневого цвета со слизистым налетом.

В составе макрозообентоса р. Ува зарегистрировано 129 видов и таксонов более высокого ранга: 2 вида ракообразных, 1 — клещей,

7 — малощетинковых червей, 1 — круглых червей, 5 — пиявок, 12 — двустворчатых моллюсков, 15 видов брюхоногих моллюсков и 86 видов насекомых. Из насекомых по числу отмеченных видов преобладали личинки Diptera (26 видов), Coleoptera (17 видов), Ephemeroptera (14 видов). В пробе бентоса отмечалось от 1 до 27 видов макрозообентоса.

Таблица 2. Характеристика станций отбора проб

Table 2. Characteristics of sampling stations

№	Расположение Location	Расстояние от истока, км Distance from the source, km	Ширина, м Width, m	Скорость течения, м/с Flow velocity, m/s	Тип грунта Type of bottom sediment
1	д. Тюлькино-Пушкар	10.0	4	0.4	песчаный
2	д. Удугучин	15.9	8	0.6	песчаный
3	д. Новый Мултан	39.3	10	0.3	песчано-илистый
4	д. Старая Тукля	45.2	8	0.4	илисто-песчаный с детритом
5	Ниже устья р. Изейка (фоновый створ пгт Ува)	55.1	20	0.32	песчано-галечный
6	пгт Ува, 2.3 км выше сброса сточных вод молокозавода	56.9	28	0.18	песчаный
7	пгт Ува, в 150–300 м выше выпуска сточных вод молокозавода	58.9	15	0.59	песчано-илистый
8	пгт Ува, место выпуска сточных вод молокозавода	59.2	16.5	0.69	песчано-илистый
9	пгт Ува, в 200–400 м ниже выпуска молокозавода	59.6	14.5	0.56	песчано-илистый
10	Ниже пгт Ува, выше выпуска с очистных сооружений УУК “Ува-ЖКХ”	63.0	15	0.45	илисто-песчаный
11	500 м ниже выпуска с очистных сооружений УУК “Ува-ЖКХ”	66.0	12.8	0.36	илисто-песчаный
12	Выше с. Вавож	104	18	0.28	илисто-песчаный с примесью глины
13	с. Вавож	108	24	0.2	илисто-песчаный с примесью глины и гальки
14	с. Вавож ниже пруда	110	13	0.32	глинисто-песчаный

В верхнем течении по численности и биомассе в бентосе доминировали мелкие двустворчатые моллюски *Pisidium amnicum* (O.F. Mueller, 1774), постоянной частью сообщества были нимфы стрекоз (*Calopteryx splendens* (Harris, 1782), *C. virgo* L., 1758, *Platycnemis pennipes* (Pallas, 1771), *Gomphus vulgatissimus* (L., 1758), *Somatochlora metallica* (Van der Linden, 1823), *Cordulia aenea* (L., 1758)), личинки ручейников (*Hydropsyche angustipennis* Curtis, 1834, *H. pellucidula* Curtis, 1834, *Neureclipsis bimaculata* (L., 1758), *Polycentropus flavomaculatus* Pictet, 1834, *Brachycentrus (B) subnubilus* Curtis, 1834) и поденок (семейств Baetidae и Caenidae).

Встречаемость 100% отмечена для олигохет подсем. Tubificidae.

Отчетливо прослеживается резкое сокращение числа видов макрозообентоса на участке ниже выпуска сточных вод молокозавода до с. Вавож. Из донных сообществ на данном участке полностью исчезли виды, чувствительные к загрязнению: личинки ручейников, поденок, веснянок и моллюски (табл. 3). В месте выпуска сточных вод молокозавода (створ №8) отмечено минимальное видовое богатство: всего три вида донных макробеспозвоночных: *Tubifex nevaensis* (Michaelsen, 1902), личинки мух-журчалок и личинки мошек. На станциях 9–11 отмечен значительный рост биомассы и

численности макрозообентоса, который вызван массовым развитием кольчатых червей *Tubifex tubifex* (O.F. Mueller, 1773), *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862, *L. udekemianus* Claparede, 1862, плотность которых достигала 82 тыс. экз./м², а биомасса — 488 г/м². Подобное влияние стоков сырзавода на макрозообентос р. Латки описал Г.Х. Щербина. Установлена огромная численность и биомасса макробеспозвоночных ниже места сброса стоков сырзавода, причем 99% численности и 96% биомассы приходилось на два вида олигохет — *Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri* [Щербина, 2009 (Shcherbina, 2009)].

Самоочищение реки от органических загрязнений наблюдается только ближе к с. Вавож (створ №12), то есть на протяжении примерно 25 км река испытывает последствия сильнейшего органического загрязнения, что проявляется в элиминации большинства представителей макрозообентоса и массовом размножении олигохет.

В нижнем течении донные сообщества восстанавливаются, появляются личинки ручейников и поденок, двустворчатые и брюхоногие моллюски, проективное покрытие макрофитов

становится выше, чем в верхнем течении, чему способствует также снижение скорости течения. Численность макрозообентоса на р. Ува менялась в пределах от 16.67 до 82476.2 экз./м². Биомасса — от 83.33 до 488253 мг/м². Минимальная плотность и биомасса бентоса отмечена в месте выпуска сточных вод молокозавода. Максимальные количественные показатели бентоса зарегистрированы в 500 м ниже выпуска очистных сооружений пгт Ува, что связано с массовым развитием олигохет (табл. 2). В некоторых местах плотность олигохет была настолько велика, что дно приобретало розовый цвет (ст. 9–11).

Значения индекса Шеннона на створах р. Ува менялись в пределах 0–2.6 бит/экз., т.е. по классификации Л.В. Яныгиной [2014 (Janygina, 2014)] качество воды менялось от очень грязной до чистой. В верхнем течении воды реки умеренно загрязненные и чистые, в месте выпуска сточных вод — очень грязные (рис. 2). Биотический индекс Вудивисса (Trent Biotic Index) менялся от 0 в месте выпуска сточных вод молокозавода до 8 в верхнем течении. Минимум показателей наблюдался на ст. 8–11 (рис. 3).

Таблица 3. Структурные показатели макрозообентоса на створах р. Ува

Table 3. Structural indicators of macrozoobenthos on the Uva River station

Номер станции Station number	Показатель / Indicator			
	Общее число видов в пробе Species richness	Численность, тыс. экз./м ² Number, thous. ind./m ²	Биомасса, г/м ² Biomass, g/m ²	Число видов (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera) Number of species
Верхнее течение / Upper current				
1	16	0.70	7.32	5
2	17.6	1.01	4.57	9
3	9	0.80	26.35	1
4	17.5	1.36	19.52	5
5	18.5	1.2	15.36	14
Среднее течение / Average current				
6	20.5	3.54	16.84	8
7	13.3	1.63	24.63	5
8	1.5	0.18	0.45	0
9	4.4	3.54	12.31	1
10	4.3	28.66	86.09	0
11	4	40.54	155.01	0
Нижнее течение / Lower current				
12	16	3.10	100.33	2
13	14	1.73	62.66	5
14	11.5	0.94	11.60	1

Примечание. Приведены средние показатели по каждой станции.

Note. The average values for each station are shown here.

Высокое качество воды (II класс) характерно для 1, 2, 4 и 5 створов в верхнем течении — “вода чистая” — 7–9 баллов. Значения показателя ТБИ в среднем течении значительно ниже, класс качества воды соответствует III–

VI классам — вода “очень грязная”–“умеренно загрязненная”. В нижнем течении вода умеренно загрязнена (5–6 баллов).

EPT Index основан на суммарном видовом богатстве представителей отрядов Ephemeroptera

tera, Trichoptera, Plecoptera. Рассчитанные нами величины индекса ЕРТ на створах р. Ува изменялись от 0 до 8, а в створах ниже выпуска сточных вод не превышали 2, что свидетельствует о загрязнении этих участков (рис. 4). Наиболее массовыми в верхнем течении были поденки *Cloeon gr. dipterum* L., 1758, *Cl. (Procloen) bifidum* Bengtsson, 1912, *Baetis fuscatus* (L., 1761), *Brachycercus harrisella* Curtis, 1834 и ручейники *Hydropsyche pellucidula* Curtis, 1834, *Brachycentrus (B) subnubilus* Curtis, 1834.

Апробация индекса Biological Monitoring Working Party (BMWP), используемого для мониторинга текущих вод Великобритании и Австралии показала, что значения индекса BMWP

на р. Ува соответствуют 0–108 баллам. Это характеризует качество воды от “низкого до очень хорошего”. Показатели индекса BMWP в верхнем течении соответствовали невысокому и хорошему качеству вод. В среднем течении качество воды от хорошего до низкого, в нижнем течении невысокое качество вод (рис. 5). Индекс BMWP фактически дублирует значения индекса Шеннона ($r_s = 0.92$; $n = 41$; $p < 0.001$), биотического индекса Вудивисса ($r_s = 0.91$; $n = 41$; $p < 0.001$), зависит от видового богатства ($r_s = 0.96$; $n = 41$; $p < 0.001$), наличия в сообществе поденок, веснянок и ручейников (ЕРТ) ($r_s = 0.82$; $n = 41$; $p < 0.001$).

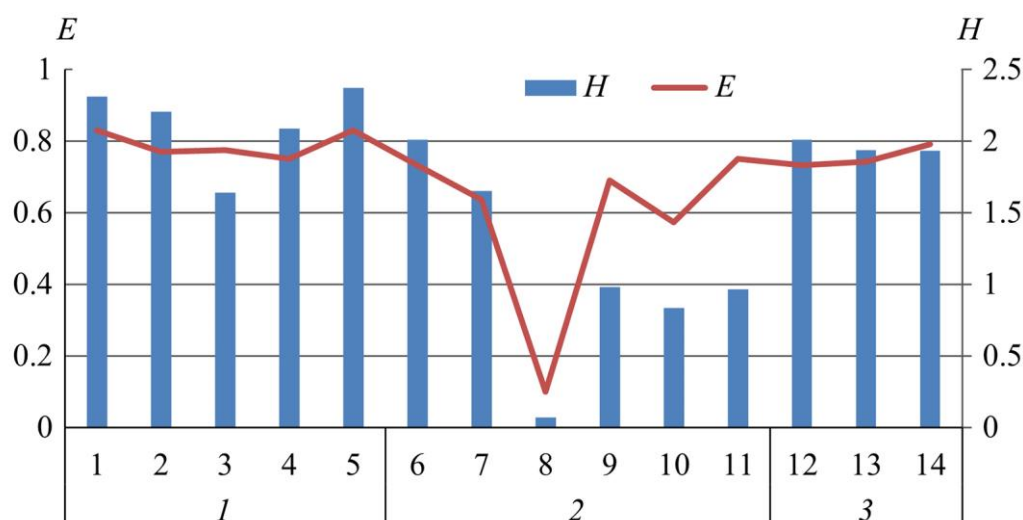


Рис. 2. Изменение индекса Шеннона (H) и выравнивания сообщества по Пielу (E) на створах р. Ува. Здесь и на рис. 3–6: 1 — верхнее течение; 2 — среднее течение; 3 — нижнее течение.

Fig. 2. Changes in the Shannon Index (H) and community alignment by Pielu (E) on the Uva River beds. Here and fig. 3–6: 1 — upper current; 2 — average current; 3 — lower current.

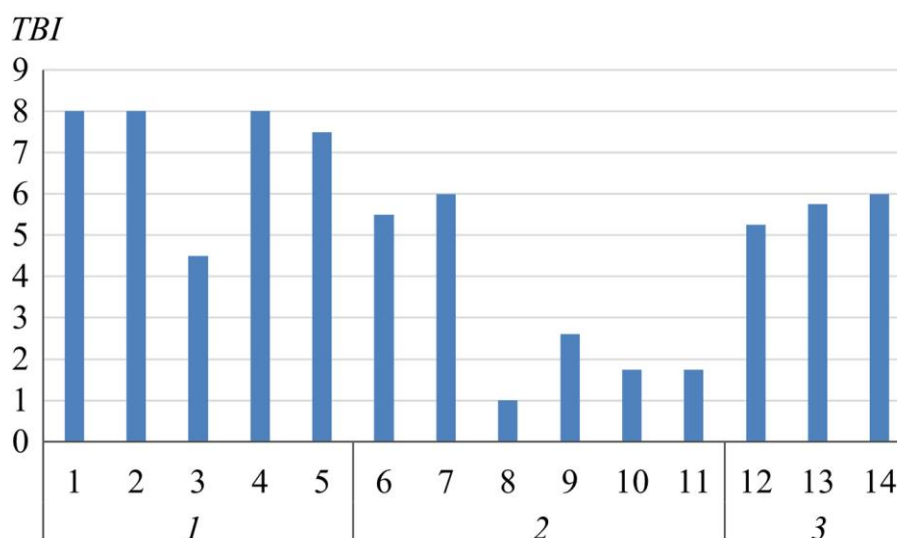


Рис. 3. Изменение показателей биотического индекса Вудивисса (Trent Biotic Index).

Fig. 3. Changes in indicators of the (Trent Biotic Index).

Показатели индекса сапробности менялись от 1.7 до 7.0. В верхнем течении формируется β -мезосапробная зона, в среднем течении диапазон индекса сапробности 1.89–7, что соответствует β -мезосапробной, α -мезосапробной и полисапробной зонам. В нижнем течении происходит восстановление показателей сапробности до β -мезосапробной зоны (рис. 6).

Хорошим показателем воздействия стоков молокозавода на экосистему реки оказалась доля олигохет в бентосном сообществе. В полисапробной зоне реки, ниже выпуска сточных

вод завода олигохеты подсемейства тубифицид становятся единственной постоянной группой макрозообентоса, способной переносить недостаток кислорода и экстремальное загрязнение легко окисляемыми органическими веществами. Олигохетный индекс в среднем течении достигает 100%, что по классификатору качества вод соответствует “очень грязным” водам. В верхнем и нижнем течении средние показатели индекса Гуднайта-Уитлея составили 14.57% и 22.27%, что соответствует очень чистым и чистым водам соответственно.

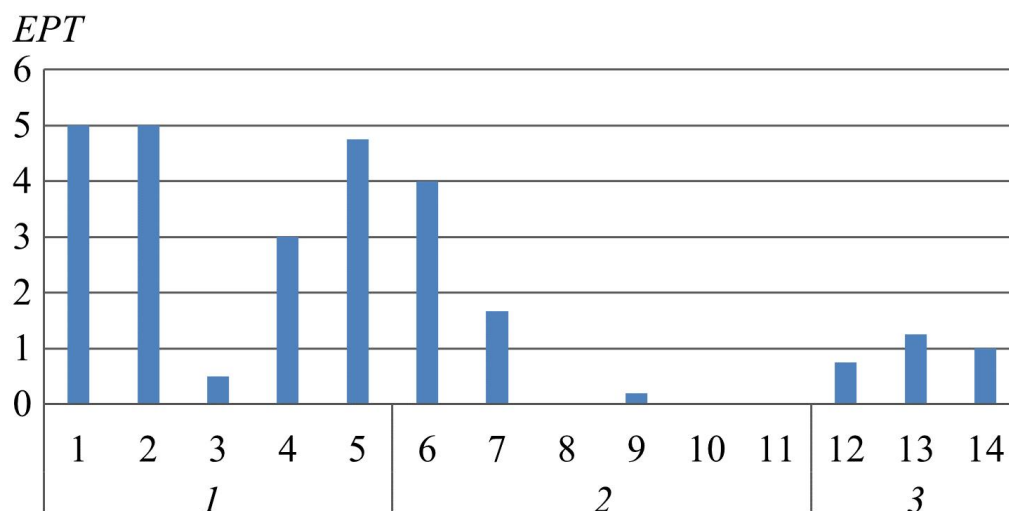


Рис. 4. Изменение индекса EPT на створах р. Ува.

Fig. 4. Change in the EPT index at the Uva River gates.

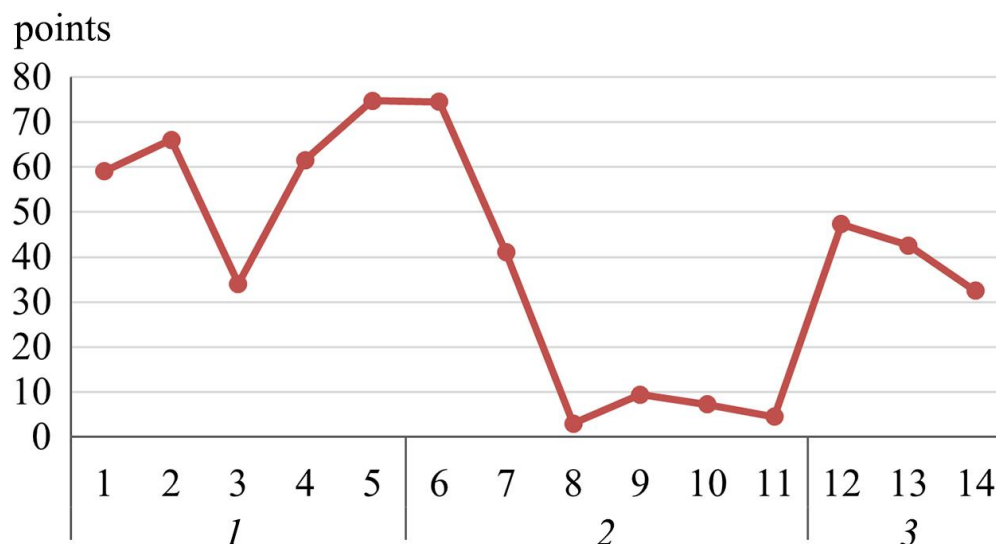


Рис. 5. Изменение индекса BMWP на створах р. Ува.

Fig. 5. The change in the BMWP index on the Uva River gates.



Рис. 6. Изменение индекса сапробности и индекса Гуднайта-Уитли на р. Ува.

Fig. 6. Changes in the saprobity index and the Goodnight-Whitley index on the Uva River.

Таблица 4. Результаты биотестирования донных отложений р. Ува

Table 4. The results of bioassay of the bottom sediments of the Uva River

Номер станции Station number	Место отбора проб Sampling location	Индекс токсичности (Т), погрешность Toxicity index (T), sinfulness
3	д. Новый Мултан	-757.4±152.6
5	Ниже устья р. Изейка (фоновый створ пгт Ува)	-143.8±37.3
6	пгт Ува, 2.3 км выше сброса сточных вод молокозавода	-223.8±32.1
9	пгт Ува, в 200–400 м ниже выпуска молокозавода	-228.5±28.7
10	Ниже пгт Ува, выше выпуска с очистных сооружений УУК “Ува-ЖКХ”	39.7±15.4
11	500 м ниже выпуска с очистных сооружений УУК “Ува- ЖКХ”	66.0±4.1
12	Выше с. Вавож	-114.2±33.2
13	с. Вавож	-818.5±240.9

Примечание. Серой заливкой выделены пробы донных отложений, при биотестировании которых установлена токсичность.

Note. Toxic sediment samples are indicated in gray.

Биотестирование с помощью биотеста “Эколюм” показало, что на станциях отбора проб верхнего течения токсичность не обнаружена. На станциях 10 и 11 ниже выпуска сточных вод молокозавода обнаружена острая токсичность, которая вызвана разложением органических

веществ сточных вод предприятия и образованием таких токсичных продуктов разложения, как сероводород, метан, аммиак и др. (табл. 4). Ниже по течению на станциях 12 и 13 происходит самоочищение водотока и показатели токсичности приходят в норму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмечено резкое ухудшение состояния бентосных сообществ на участке ниже места сброса сточных вод молокозавода. Наиболее показательными в условиях данного загрязнения являются следующие индексы и показатели макрозообентоса: видовое богатство, индекс Шеннона, выравненность по Пиелу, ТВІ, индекс сапробности по Пантле-Букку, индекс Гуднайта-Уитли, ЕРТ, BMWP, для которых различия

в оценке качества воды между чистыми и загрязненными створами являются достоверными или значимыми ($p < 0.05$). Результаты биоиндикации хорошо согласуются с биотестированием на люминесцентных бактериях “Эколюм”. Выявлена зона экологического бедствия, участок, где в результате хозяйственной деятельности произошли глубокие необратимые изменения окружающей природной среды, повлекшие

за собой существенное нарушение природного равновесия, разрушение естественных экологических систем, деградацию флоры и фауны [Федеральный..., 2002 (Federal'nyj..., 2002)]. Такая

зона на р. Ува Удмуртской Республики формируется ниже выпуска сточных вод молокозавода в пгт Ува и простирается до северных окрестностей с. Вавож.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации “Биоразнообразие природных экосистем Заволжско-Уральского региона: история его формирования, современная динамика и пути охраны” (FEWS-2024-0011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 57455-2017 “Руководство по применению критериев классификации опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. Острая токсичность для водной среды”. М.: Стандартинформ, 2017. 8 с.
- Забалухина А.С. Отходы — в дело // Молочная промышленность. 1994. № 9. С. 11
- Ковалева О.В., Санникова Н.В., Шулепова О.В. Уровень загрязненности сточных вод молокоперерабатывающих предприятий Тюменской области // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 1(30). С. 49–54. DOI: 10.24411/2309-4370-2020-11107.
- Курдин В.П. Классификация и распределение грунтов Рыбинского водохранилища // Тр. Ин-та биологии водохранилищ. 1959. Вып. 1/4. С. 25–37.
- Методические рекомендации “Определение интегральной токсичности почв с помощью биотеста “Эколюм”” [MP 01.019-07]. Москва, 2006. 16 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 51 с.
- Семенов В.В., Луговкин А.Н. Очистка сточных вод в молочной промышленности // Молочная промышленность. 2020. № 8. С. 26–29.
- Сергеев В.И. Пищевая и перерабатывающая промышленность Российской Федерации. М.: Агропромиздат, 2004. 225 с.
- Удмуртская Республика: Энциклопедия. Ижевск: Изд-во “Удмуртия”, 2008. 768 с.
- Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды”. Статья 59.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 1. М.: Наука, 2005. 281 с.
- Щербина Г.Х. Изменение видового состава и структурно-функциональных характеристик макрозообентоса водных экосистем Северо-Запада России под влиянием природных и антропогенных факторов: автореферат дис. ... доктора биологических наук. Санкт-Петербург, 2009. 303 с.
- Яныгина Л.В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов: диссертация ... доктора биологических наук: 03.02.08. Владивосток, 2014. 399 с.
- Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J., Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T. Buffer Zones in head-water catchments // Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Cranfield University, Silsoe, UK, 1996. 22 p.
- Plafkin J.L., Barbour M.T., Porter K.D., Stribling J.B. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish // U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C. EPA 440-4-89-001. 1989.
- Woodiwiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent Board // Chem. and Ind. 1964. Vol. 11. P. 443–447.

REFERENCES

- Federal'nyj zakon ot 10 yanvarya 2002 g. № 7-FZ “Ob ohrane okruzhayushchej sredy” [Federal Law № 7-FZ of January 10, 2002 “On Environmental Protection”]. Article 59. (In Russian)
- GOST R 57455-2017 “Rukovodstvo po primeneniyu kriteriev klassifikacii opasnosti ximicheskoy produkcii po vozdeystviyu na okruzhayushchuyu sredu. Ostraya toksichnost` dlya vodnoj sredy`”. M., Standartinform, 2017. 8 p. (In Russian)
- Kovaleva O.V., Sannikova N.V., Shulepova O.V. The pollution level of wastewater from dairy processing enterprises of the Tyumen region. *Samarskij nauchnyj vestnik*, 2020, vol. 9, no. 1(30) pp. 49–54. (In Russian)
- Kurdin V.P. Klassifikaciya i raspredelenie gruntov Rybinskogo vodohranilishcha [Classification and distribution of soils of the Rybinsk reservoir]. *Trudy Instituta biologii vodohranilishch* [Proceedings of the Institute of Reservoir Biology], 1959. no. 1/4. pp. 25–37. (In Russian)
- Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J., Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T. Buffer Zones in head-water catchments. *Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285*. Cranfield University, Silsoe, UK, 1996. 22 p.
- Metodicheskie rekomendacii “Opredelenie integral`noj toksichnosti pochv s pomoshh`yu biotesta “E`kolyum”” [MR 01.019-07]. Moskva, 2006. 16 p. (In Russian)
- Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyah na presnovodnyh vodoemah. Zoobentos i ego produkciya [Methodological recommendations for the collection and processing

- of materials in hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zoobenthos and its products]. L., GosNIORKh, 1984. 51 p. (In Russian)
- Plafkin J.L., Barbour M.T., Porter K.D., Stribling J.B. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C. EPA 440-4-89-001. 1989.
- Semenov V.V., Lugovkin A.N. Wastewater treatment in the dairy industry. *Molochnaya promyshlennost'*, 2020, no. 8, pp. 17–20 (In Russian)
- Sergeev V.I. Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost' Rossijskoj Federacii [Food and processing industry of the Russian Federation]. Moscow, Agropromizdat, 2004, 225 p. (In Russian)
- Shcherbina G.H. Izmenenie vidovogo sostava i strukturno-funkcional'nyh harakteristik makrozoobentosa vodnyh ekosistem Severo-Zapada Rossii pod vliyaniem prirodnyh i antropogennyh faktorov [Changes in the species composition and structural and functional characteristics of macrozoobenthos of aquatic ecosystems of the North-West of Russia under the influence of natural and anthropogenic factors]. *Doctor of Biol. Sci. Diss.* St. Petersburg, 2009, 303 p. (In Russian)
- Shitikov V.K., Rosenberg G.S., Zinchenko T.D. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya [Quantitative hydroecology: methods, criteria, solutions]. Book 1. Moscow, Nauka, 2005, 281 p. (In Russian)
- Udmurtskaya Respublika: Enciklopediya [Udmurt Republic: An Encyclopedia]. Izhevsk, Udmurtia Publishing House, 2008, 768 p. (In Russian)
- Woodwiiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent Board. *Chem. And Ind.*, 1964, vol. 11, pp. 443–447.
- Yanygina L.V. Zoobentos bassejna Verhnej i Srednej Obi: vozdejstvie prirodnyh i antropogennyh faktorov [Zoobenthos of the Upper and Middle Ob basin: the impact of natural and anthropogenic factors]. *Doctor of Biol. Sci. Diss.* Vladivostok, 2014, 399 p. (In Russian)
- Zabalukhina A.S. Othody — v delo [Waste is in business]. *Molochnaya promyshlennost'*, 1994, no. 9, pp. 11. (In Russian)

ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE STATE OF A SMALL RIVER IN THE INFLUENCE ZONE OF DAIRY PLANT WASTEWATER BY BIODIAGNOSTICS METHODS

N. V. Kholmogorova*

Udmurt State University,

426034 Izhevsk, Russia; e-mail: *nadjaholm@mail.ru

Revised 26.07.2024

An ecotoxicological assessment of the state of the Uva River in the influence zone of the dairy plant wastewater was given. Bioindication was carried out based on macrozoobenthos indicators. A total of 129 species and taxa of higher rank of macrozoobenthos were identified. In the area below the wastewater discharge, a sharp decrease in biodiversity and a decrease in the Shannon index, Pielu evenness, EPT, TBI and BMWP were noted. At the same time, an increase in the role of oligochaetes in the community (Goodnight-Whitley index) and a significant increase in the number (up to 40.5 thousand specimens/m²) and biomass of macrozoobenthos (up to 155 g/m²) were noted. The saprobity index values varied from 1.7 to 7.0. In the upper reaches, a β -mesosaprobic zone is formed, in the middle reaches, the saprobity index ranges from 1.89 to 7, which corresponds to the β -mesosaprobic, α -mesosaprobic and polysaprobic zones. In the lower reaches, the saprobity indices are restored to the β -mesosaprobic zone. Biotesting of aqueous extract of bottom sediments on luminescent bacteria using the Ecolum test system showed acute toxicity at two stations located below the wastewater discharge. An ecological disaster zone has been identified, which is formed below the discharge of wastewater from the dairy plant in the village of Uva and extends approximately 25 km downstream.

Keywords: small rivers, macrozoobenthos, biodiagnostics, bioindication, biotesting, Udmurt Republic

Научное издание

**Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
вып. 107(110), 2024 г.**

Рекомендуемый вариант цитирования статей:

... // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2024. Вып. 107(110). С. ...

Recommended option for citing articles:

... // Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, 2024. Is. 107(110). P. ...

Подписано в печать 20.09.2024. Формат 60×90 1/8.

Усл. печ. л. 8. Заказ № 23117. Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ООО “Филигрань”
150049, г. Ярославль, ул. Свободы, 91, pechataet@bk.ru