

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК: 504.453

Биотестирование реки Ивы и ее притоков методом измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer)

Леонид Сергеевич Кучин¹, Екатерина Александровна Немчанинова²

^{1,2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

¹ kleond@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5283-5681>

² nem4aninova.e@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8334-8939>

Аннотация. В статье дается оценка качества воды в реке Иве (г. Пермь), а также ее притоках: Большая Ива, Малая Ива, Талажанка и Уинка. Качество воды в реках оценивалось при помощи метода токсикологического контроля. Метод основан на измерении оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). Данный метод биотестирования, благодаря более высокой чувствительности, относительно химических методов анализа, предоставляет возможность комплексной оценки содержания загрязняющих веществ в водной среде. По итогу проведенной работы получены данные об изменении степени токсичности воды от истоков рек к их устьям. Снижение оптической плотности хлореллы и рост степени токсичности наблюдались для вод реки Ивы и всех ее притоков, кроме реки Уинка. Для реки Ива выявлено снижение оптической плотности на 58% относительно устья, что может быть связано с возрастающей степенью застройки берегов реки. Величина токсичной кратности разбавления (ТКР) для всех рек колеблется от 3,95 до 32,43, что свидетельствует об изменении качества воды от среднетоксичной до сильнотоксичной. Воды в реке Большая Ива обладают наименьшей токсичностью.

Ключевые слова: малые реки, оценка качества воды, *Chlorella vulgaris* Beijer, биотестирование, ТКР, оптическая плотность хлореллы

Для цитирования: Кучин Л.С., Немчанинова Е.А. Биотестирование реки Ивы и ее притоков методом измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 1. С. 46–53.

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

Biotesting of the Iva River and its tributaries by measuring the optical density of *Chlorella vulgaris* Beijer

Leonid S. Kuchin¹, Ekaterina A. Nemchaninova²

^{1,2} Perm State University, Perm, Russia

¹ kleond@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5283-5681>

² nem4aninova.e@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8334-8939>

Abstract. The article gives an assessment of the quality of water in the Iva River (Perm), as well as its tributaries: Bolshaya Iva, Malaya Iva, Talazhanka and Uinka. The quality of water in the rivers was assessed using the method of toxicological control. The method is based on measuring the optical density of a culture of algae chlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer). This biotesting method, due to its higher sensitivity relative to chemical methods of analysis, provides an opportunity for a comprehensive assessment of the content of pollutants in the aquatic environment. As a result of the work carried out, data were obtained on the change in the degree of toxicity of water from the sources of rivers to their mouths. A decrease in the optical density of chlorella and an increase in the degree of toxicity were observed for the waters of the Iva River and all its tributaries, except for the Uinka River. For the Iva River, a decrease in optical density by 58% relative to the mouth was revealed, which may be associated with an increasing degree of development of the river banks. The value of the toxicity dilution factor (TDF) for all rivers ranges from 3.95 to 32.43, which corresponds to a change in water quality from moderately toxic to highly toxic. The waters in the Bolshaya Iva River are the least toxic.

Key words: small rivers, water quality assessment, *Chlorella vulgaris* Beijer, biotesting, toxicity dilution factor (TDF), optical density of chlorella

For citation: Kuchin, L., Nemchaninova, E., 2023. Biotesting of the Iva River and its tributaries by measuring the optical density of *Chlorella vulgaris* Beijer. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 9(1), pp. 46–53. (in Russian)

Введение

Качество и состояние вод малых рек города Перми имеют высокое значение для состояния городской среды. При этом прослеживается тенденция к снижению данных показателей [2,9]. Необходим контроль качества природных вод для успешного решения проблем рациональной эксплуатации биологических ресурсов водоемов всех типов и обеспечения человека чистой (биологически полноценной) водой [11].

Химический состав вод малых рек городов многокомпонентный и формируется в процессе протекания малых рек по территориям промышленных зон, сельскохозяйственных районов и населенных пунктов. Именно многокомпонентность состава влияет на изменения состава биоты малых рек [4].

Решение проблем необходимо начинать с оценки интенсивности биологического самоочищения водоемов и оценки степени загрязнения водных объектов. В подобном случае целесообразно использование технологий биотестирования [10].

Методы биологического тестирования и индикации чувствительнее химических методов анализа, поэтому с их помощью можно оценить синергическое действие токсикантов и биологические эффекты сверхмалых концентраций [11, 15]. Физико-химические методы анализа не всегда позволяют провести полноценную оценку зависимости токсического воздействия загрязняющего вещества от физических факторов среды [5]. Также биотестирование на основе микроводорослей более дешевый метод оценки, относительно химического анализа [13]. Водоросли способны давать большое количество популяций за короткий период времени, что также является преимуществом биомониторинга [19].

Для биотестирования водных объектов [16]: городских рек [20] и карьерных вод [17] различной степени загрязненности перспективно использование альгологически чистых культур микроводорослей *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Chlamydomonas* и др.; из синезеленых водорослей – *Microcystis phanizomenon*, *Anabaena*; из эвгленовых водорослей – *Euglena gracilis* и из диатомовых водорослей *Stephanodiscus Hantzshii* и т.д. [7].

При помощи ингибирования роста *Chlorella vulgaris* в воде анализируются такие элементы как: As, Zn и Pb [14]. Проверено воздействие на водоросли оксидов ZnO, TiO₂, NiO [12]. Явное негативное воздействие на рост *Chlorella vulgaris* оказывают нефтепродукты, в частности, фенолы [18]. Помимо углеводородов данный биоиндикатор позволяет фиксировать токсичное воздействие углеродных наночастиц [21].

По изменению оптической плотности тест-культуры зеленой протококковой водоросли хлорелла *Chlorella vulgaris* Beijer в лабораторных условиях, возможно, определять острую токсичность проб поверхностных вод. Методика регистрирует различия в величине оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, которая выращивается на среде, не содержащей токсических веществ и тестируемых проб, в которых эти вещества могут присутствовать [3,6].

Задачи исследования:

1. Провести измерение оптической плотности культуры хлореллы в пробах, отобранных на реке Ива и ее притоках.

2. Оценить изменение полученных значений оптической плотности хлореллы на протяжении всего водотока речной системы реки Ива.

3. Рассчитать величину токсичной кратности разбавления и на ее основе оценить токсичность воды в пробах относительно фона и контрольной среды.

Материал и методика

Отбор проб воды для биотестирования на реке Иве и ее притоках (Большая Ива, Малая Ива, Талажанка, Уинка), осуществлялся согласно ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 [8] и ГОСТ 31942-2012 [1]. Всего отобрано 15 проб: на реке Иве около истока, устья и в местах впадения притоков; на самих притоках около истока и устья. Фоновой точкой являлась точка №1, расположенная у истока реки Малая Ива, поскольку данный участок наименее подвержен антропогенному воздействию.

Биотестирование на тест-объекте *Chlorella vulgaris* проводилось по методике, допущенной для целей государственного экологического контроля: «Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления» [8].

Токсичность оценивали по двум показателям:

1) Снижение на 20% и более (подавление роста) или увеличению на 30% и более (стимуляция роста) величины оптической плотности культуры водоросли, выращиваемой в течение 22 ч на тестируемой среде по сравнению с ее ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде;

2) Ростом на 30% и более или снижением на 20% и более величины оптической плотности культуры водоросли по сравнению с фоновым показателем (проба №1 Исток р. Малая Ива).

Для каждой пробы рассчитывалась величина токсичной кратности разбавления (далее – ТКР), которая представляет собой кратность разбавления при которой токсический эффект отсутствует.

Для расчета ТКР использовалась формула (стимуляции роста 30% и выше):

$$TKP = 10^{((lgP_6 - lgP_m) \times (I_m - 0,3)) / (I_m - I_6)} + lgP_m$$

где, P₆ – величина разбавления (наибольшая), при которой индекс отклонения был ниже критерия токсичности; P_m – величина разбавления (меньшая), при которой индекс отклонения был выше критерия токсичности; I₆ и I_m – величины соответствующих этим разбавлениям индексов I, выраженные в долях. В качестве P₆ и P_m используется та пара наибольших разбавлений, между которыми имеет место переход индекса I величины установленного критерия токсичности.

$$I = (D\bar{k} - D\bar{o}) / (D\bar{k}) \times 100$$

где, D \bar{k} и D \bar{o} – средние значения оптической плотности в контроле и в опыте, соответственно.

Отбор проб воды на биотестирование осуществлялся с 14 по 28 октября, даты отбора проб представлены в таблице 1 / table 1.

Таблица 1

Даты места отбора проб для биотестирования

Table 1

Dates of sampling sites for biotesting

Номер пробы // Sample number	Дата // Date	Место отбора проб // Sampling location
1	2022/10/14	Исток р. Малой Ивы // The source of the Malaya Iva river
2	2022/10/14	Исток р. Большой Ивы // The source of the Bolshaya Iva river
3	2022/10/14	Среднее течение р. Большой Ивы // The middle course of the Bolshaya Iva river
4	2022/10/18	Устье р. Малой Ивы // The estuary of the Malaya Iva river
5	2022/10/18	Устье р. Большой Ивы // The estuary of the Bolshaya Iva river
6	2022/10/18	Слияние рек Большой и Малой Ивы // The confluence of Bolshaya Iva river and Malaya Iva river
7	2022/10/28	Устье р. Уинки // The estuary of the Uinka river
8	2022/10/28	р. Ива до впадения р. Уинки // Iva river to the confluence of the Uinka river
9	2022/10/19	р. Ива после впадения р. Уинки // Iva river after the confluence of the Uinka river
10	2022/10/19	р. Ива до впадения р. Талажанки // Iva river to the confluence of the Talazhanka river
11	2022/10/19	р. Ива после впадения р. Талажанки // Iva river after the confluence of the Talazhanka river
12	2022/10/27	Устье р. Талажанки // The estuary of the Talazhanka river
13	2022/10/27	Около устья р. Ивы // Near the estuary of the Iva river
14	2022/10/27	Исток р. Талажанки // The source of the Talazhanka river
15	2022/10/28	Исток р. Уинки // The source of the Uinka river

Результаты и обсуждение

В ходе биотестирования была получена оптическая плотность хлореллы. Для этого обработано 15 проб воды, в четырех повторностях.

Изменение оптической плотности хлореллы от истока до устья реки Ива и ее притоков представлены в таблице 2 / table 2.

Амплитуда изменения оптической плотности хлореллы является отрицательной для всех рек кроме реки Уинки. Отрицательные значения свидетельствуют о том, что качество воды в реках постепенно снижается.

Самая низкая амплитуда выявлена для участка реки Ива начинающегося от впадения р. Уинка и заканчивающегося впадением р. Талажанка. От устья до истока р. Ива наблюдается наиболее сильное снижение показателя плотности хлореллы. Снижение связано с возрастающей антропогенной нагрузкой в виде повышения плотности городской застройки берегов. В водах р. Уинке показатель плотности от истока к устью возрос на 0,038.

Среднее значения оптической плотности хлореллы в местах отбора проб на р. Иве и ее притоках представлены на рис. 1 / fig. 1.

Таблица 2

Изменение оптической плотности хлореллы в пробах реки Ива

Table 2

Changes in *Chlorella* optical density in Samples from the Iva River

Река // River	Оптическая плотность хлореллы (Доля снижения оптической плотности хлореллы, %) // <i>Chlorella</i> optical density (Percentage of reduction in optical density of <i>chlorella</i> , %)			
	Исток // Source	Устье // Estuary	Амплитуда устье-исток // Amplitude estuary-source	Среднее // Average
Ива // Iva	0,071 (100)	0,041(58)	-0,030	0,059 (83)
Ива (часть от впадения р. Большой Ивы до впадения р. Уинки) // Iva (part of the confluence of the Bolshaya Iva river to the confluence of the Uinka river)	0,054 (76)	0,074 (104)	0,020	0,064 (90)
Ива (часть от впадения р. Уинки до впадения р. Талажанки) // Iva (part of the confluence of the Uinka to the confluence of the Talazhanka)	0,055 (77)	0,064 (90)	0,009	0,060 (84)
Ива (часть от впадения р. Талажанки до устья) // Iva (part of the confluence of the Talazhanka river to the Estuary)	0,060 (85)	0,041 (58)	-0,019	0,051 (71)
М. Ива // Malaya Iva	0,071 (100)	0,051 (70)	-0,021	0,061 (85)
Б. Ива // Bolshaya Iva	0,077 (108)	0,063 (89)	-0,014	0,071 (100)
Талажанка // Talazhanka	0,065 (92)	0,042 (59)	-0,023	0,054 (75)
Уинка // Uinka	0,024 (34)	0,062 (87)	0,038	0,043 (61)

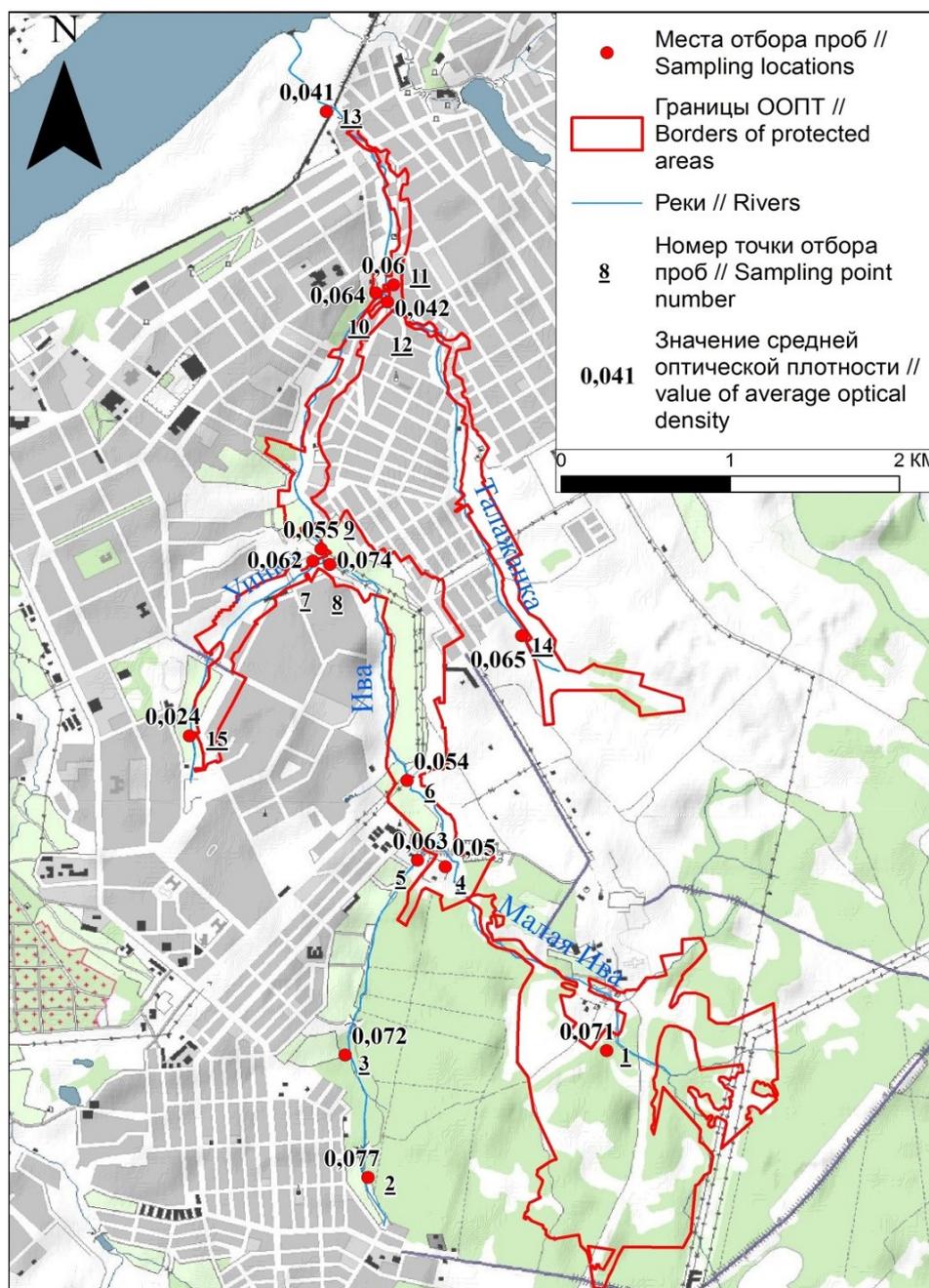


Рис. 1. Карта средней оптической плотности хлореллы в водотоках реки Ивы
Fig. 1. Map of the average optical density of chlorella in the watercourses of the Iva River

Относительно фоновое значение оптической плотности (точка № 1 исток р. Малая Ива) максимальное снижение среднего значения наблюдается для р. Уинки и составляет 39%. Для реки Ивы максимальное снижение среднего значения оптической плотности зарегистрировано на участке от впадения р. Талажанки до устья и составило 71%, что на 29% меньше, чем в фоновой точке. В реке Большая Ива средняя оптическая

плотность равна фоновой (0,071). Сильное снижение в точке № 9 относительно точек № 8 и № 7, может быть вызвано тем, что река Уинка в момент впадения в реку Ива протекает через трубу.

Для реки Ива фиксировалось увеличение показателя ТКР от истока к устью (3,95; 5,67) (таблица 3 / table 3), что говорит о загрязнении вод ниже по течению и соответствует среднетоксичному качеству воды.

Таблица 3

Токсичная кратность разбавления (ТКР) в пробах на анализируемых реках

Table 3

The toxicity dilution factor (TDF) in the samples on the analyzed rivers

<i>Река // River</i>	<i>Величина ТКР // The value of the TDF</i>	<i>Качество воды // Water quality</i>	<i>ТКР (превышение фонового значения) // TDF (Excess of the background value)</i>
Исток р. Малой Ивы // The source of the Malaya Iva river	3,95	Среднетоксичная // Medium toxic	1,00
Устье р. Малой Ивы // The estuary of the Malaya Iva river	4,20	Среднетоксичная // Medium toxic	1,06
Исток р. Большой Ивы // The source of the Bolshaya Iva river	13,76	Токсичная // Toxic	3,48
Среднее течение р. Большой Ивы // The middle course of the Bolshaya Iva river	14,83	Токсичная // Toxic	3,75
Устье р. Большой Ивы // The estuary of the Bolshaya Iva river	32,43	Сильнотоксичная // Highly toxic	8,21
Слияние рек Большой и Малой Ивы // The confluence of Bolshaya Iva river and Malaya Iva river	8,61	Токсичная // Toxic	2,18
р. Ива до впадения р. Уинки // Iva river to the confluence of the Uinka river	5,98	Среднетоксичная // medium toxic	1,51
Исток р. Уинки // The source of the Uinka river	9,00	Токсичная // Toxic	2,28
Устье р. Уинки // The estuary of the Uinka river	6,24	Среднетоксичная // medium toxic	1,58
р. Ива после впадения р. Уинки // Iva river after the confluence of the Uinka river	7,04	Среднетоксичная // medium toxic	1,78
р. Ива до впадения р. Талажанки // Iva river to the confluence of the Talazhanka river	6,15	Среднетоксичная // medium toxic	1,56
Исток р. Талажанки // The source of the Talazhanka river	4,14	Среднетоксичная // medium toxic	1,05
Устье р. Талажанки // The estuary of the Talazhanka river	5,31	Среднетоксичная // medium toxic	1,34
р. Ива после впадения р. Талажанки // Iva river after the confluence of the Talazhanka river	6,68	Среднетоксичная // medium toxic	1,69
Около устья р. Ивы // Near the estuary of the Iva river	5,67	Среднетоксичная // medium toxic	1,44

Максимальная величина ТКР (32,43) наблюдается в устье р. Большой Ивы (до пересечения реки ул. Самаркандской, на северо-западе от Лыжной базы "Динамо"); минимальная ТКР – в истоке р. Малой Ивы, (3,95).

Рост величины ТКР в направлении от истока к устью наблюдается для изученных водотоков кроме р. Уинки.

Дискуссия

По данным [2], полученным таким же методом, величина ТКР малых рек города Перми Данилихи и Егошихи так же увеличивается от истока к устью. Так, ТКР в устье р. Данилихи – 38,6 (сильнотоксичное), в истоке р. Данилихи 14,1 (сильнотоксичное), в устье р. Егошихи – 42,2 (сильнотоксичное), в истоке р. Егошихи – 33,6 (сильнотоксичное). Напротив, в р. Малой Язовой наблюдается обратная тенденция: устье – 0 (не оказывает острого токсического действия), исток – 6,7 (среднетоксичное).

Проведенное нами биотестирование также показывает, что основной тенденцией для большинства исследованных рек является снижение средней оптической плотности хлореллы и рост величины ТКР от истока к устью. Исключением из этой тенденции являются:

река Уинка и участок среднего течения реки Ивы. При этом наибольшее повышение значения оптической плотности для реки Ивы наблюдается на участке от слияния рек Малой и Большой Ивы. Улучшение качества воды может быть вызвано впадением ручьев и притоком из ключей.

Для реки Ивы величина ТКР в истоке составила 3,95 (среднетоксичное), а в устье 5,67 (среднетоксичное). Ухудшение качества воды в реке связано с возрастающей антропогенной нагрузкой в виде повышения плотности городской застройки берегов. Также подобное ухудшение качества воды в малых реках связывают с низкой самоочищающей способностью свойственной таким водотокам [10].

Среди всех участков реки Ивы наибольшее снижение качества воды выявлено от впадения р. Талажанки до устья реки Ивы. Данный участок обладает наибольшей степенью застройки берегов, а река местами проходит через трубы под дорогами. В схожих условиях протекает река Уинка – перед впадением в реку Иву, на этом участке также наблюдается резкое снижение оптической плотности и рост величины ТКР.

Как и всем малым рекам, Иве и её притокам свойственно: малая водообеспеченность, малая глубина и низкая скорость течения – что приводит ухудшению

разбавления загрязнений, поступивших от антропогенных источников. Наличие антропогенного воздействия может являться следствием отсутствия относительно строгого природоохранного статуса, установленных нормативов природопользования и категории природопользования [9].

Выводы

1. Для реки Ивы выявлено снижение оптической плотности хлореллы от истока к устью. Однако для участка течения реки Ивы после слияния рек Малой и Большой Ивы наблюдается незначительный рост. Так же снижение оптической плотности свойственно всем водотокам притоков реки Ива кроме реки Уинка. Снижение оптической плотности свидетельствует об ухудшении качества воды в реках, и связано с постепенно возрастающей антропогенной нагрузкой на водосборный бассейн реки Ивы.

2. При сравнении значений оптической плотности хлореллы в водотоках системы реки Ивы с фоновым значением, полученным на участке с наименьшей антропогенной нагрузкой (исток р. Малой Ивы), снижение на 20% и более наблюдалось для воды в устье всех рек кроме реки Уинки и Большой Ивы. Это свидетельствует о приобретении токсических свойств для вод всех рек кроме реки Уинки и реки Большой Ивы.

3. Изменение показателя ТКР показывает увеличение токсичности для всех водотоков (кроме реки Уинки) речной системы реки Ивы по направлению от истока к устью.

Сведения об авторском вкладе

Л.С. Кучин – сбор данных, интерпретация данных, работа с иностранными источниками, введение, дискуссия, выводы, оформление статьи.

Е.А. Немчанинова – обработка данных, работа с русскоязычными источниками, введение, результаты, выводы.

Contribution of the authors

L.S. Kuchin – data collection, data interpretation, work with foreign sources, introduction, discussion, conclusions, article design.

E.A. Nemchaninova – data processing, work with Russian-language sources, introduction, results, conclusions.

Список источников

1. ГОСТ 31942-2012 (ISO 19458:2006) Отбор проб для микробиологического анализа [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097811> (дата обращения: 06.02.2023).

2. Жукова М.В. Биотестирование малых рек Перми методом измерения оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 21–22 апреля 2022 года / Под редакцией С. А. Бузмакова. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2022. С. 232–236.

3. Жулидов А.В., Хоружая Т.А., Предеина Л.М., Бакаева Е.Н., Морозова Е.В. Рекомендации. Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных

экосистем. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Москва, 1994. 136 с.

4. Козлова А.В., Зуева Н.В. Экологическое состояние малой реки: оценка с использованием композитных индексов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2021. № 5. С. 32–44. <https://doi.org/10.17076/eco1455>

5. Кошелева И.С., Косарев А.В., Савина К.А., Панкратова Ю.А. Перспективы гигиенического мониторинга поверхностных водисточников с применением микроводорослей рода *Chlorella* как биотест-объектов // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: Материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием, Пермь, 11–15 октября 2021 года / Под редакцией А.Ю. Поповой, Н. В. Зайцевой. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2021. С. 51–59.

6. Курынцева П.А., Галицкая П.Ю. Методы биотестирования применяемые для оценки токсичности объектов окружающей среды (Методические указания к специальному практикуму по прикладной экологии). Казань: Казан. ун-т. 2018. 43 с.

7. Онерхан Г., Дурмекбаева Ш.Н., Ахметова Н.П. Биотестирование загрязненности озера Копа с помощью клеток *Chlorella* sp-3K // Вестник науки и образования. 2019. № 18(72). С. 25–28.

8. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Москва. 2014. 36 с.

9. Сагитова Э.Т., Хотяновская Ю.В. Оценка качества вод малых рек Г. Перми методами биотестирования // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка, Пермь, 22–23 апреля 2021 года / Под редакцией С.А. Бузмакова. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. С. 300–304.

10. Сентюрова М.В., Вишняков А.Н. Определение содержания нефтепродуктов и токсичности воды в р. Енисей и его притоках в черте Красноярска в разные сезоны года // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 1. С. 140–146. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2016-1-140-146>

11. Чупис В.Н., Журавлёва Л.Л., Жирнов В.А., Ларин И.Н., Луцай Е.А., Емельянова Н.В., Ильина Е.В., Иванов Д.Е. Оценка качества воды водоёма-охладителя Балаковской атомной электростанции методами биомониторинга // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 43–50.

12. Adochite C., Andronic L. Aquatic Toxicity of Photocatalyst Nanoparticles to Green Microalgae *Chlorella vulgaris*. *Water*. 2021. Vol. 13. P. 77. <https://doi.org/10.3390/w13010077>

13. Barinova S., Mamanazarova K. Diatom Algae-Indicators of Water Quality in the Lower Zarafshan River, Uzbekistan. *Water*. 2021. Vol. 13. P. 358. <https://doi.org/10.3390/w13030358>
14. Expósito N., Carafa R., Kumar V., Sierra J., Schuhmacher M., Papiol G.G. Performance of *Chlorella Vulgaris* Exposed to Heavy Metal Mixtures: Linking Measured Endpoints and Mechanisms. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021. Vol. 18. P. 1037. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031037>
15. Feio M.J., Hughes R.M., Callisto M., Nichols S.J., Odume O.N., Quintella B.R., Kuemmerlen M., Aguiar F.C., Almeida S.F.P., Alonso-Eguía Lis P., Arimoro F.O., Dyer F.J., Harding J.S., Jang S., Kaufmann P.R., Lee S., Li J., Macedo D.R., Mendes A., Mercado-Silva N., Monk W., Nakamura K., Ndiritu G.G., Ogden R., Peat M., Reynolds T.B., Rios-Touma B., Segurado P., Yates A.G. The Biological Assessment and Rehabilitation of the World's Rivers: An Overview. *Water*. 2021. Vol. 13. 371. <https://doi.org/10.3390/w13030371>
16. He L., Chen Y., Wu X., Chen S., Liu J., Li Q. Effect of Physical Factors on the Growth of *Chlorella Vulgaris* on Enriched Media Using the Methods of Orthogonal Analysis and Response Surface Methodology. *Water*. 2020. Vol. 12. №1. P. 34. <https://doi.org/10.3390/w12010034>
17. Kucherik G.V., Omelchuk Yu.A., Sytnikov D.M. Biotesting of quarry lakes as an alternative source of drinking water supply. Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2022. Vol. 8, №. 2. P. 87–92.
18. Tugcu G., Ertürk M.D., Saçan M. On the aquatic toxicity of substituted phenols to *Chlorella vulgaris*: QSTR with an extended novel data set and interspecies models. *Journal of Hazardous Materials*. 2017. P. 339. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.06.027>
19. Umar L., Setiadi R., Hamzah Y., Linda T. An arduino uno based biosensor for water pollution monitoring using immobilised algae *Chlorella vulgaris*. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*. 2017. Vol. 10. P. 955–975. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2018-027>
20. Xu R.R., Pei Z.T., Wang W.Q., Zhang M., Zhang L.L., Zhang J., Wang W.Q., Sun L.W., Zhang Y.M. Assessment of Biological Toxicity and Ecological Safety for Urban Black-Odor River Remediation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17. P. 1025. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031025>
21. Zhang M., Wang H., Liu P., Song Y., Huang H., Shao M., Liu Y., Li H., Kang Z.H. Biototoxicity of Degradable Carbon Dots towards Microalgae *Chlorella vulgaris*. *Environmental Science: Nano*. 2019. Vol. 6. <https://doi.org/10.1039/C9EN00829B>
- References**
1. GOST 31942-2012 (ISO 19458:2006) Otkor prob dlya mikrobiologicheskogo analiza [Sampling for microbiological analysis]. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200097811> [Accessed 7th February 2023]. (in Russian)
2. Zhukova, M., 2022. Biotesting of small rivers of perm by measuring the optical density of the chlorella algae culture (*Chlorella vulgaris* Beijer). In: Buzmakov, S.(ed.) *Ecological safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: Collection of materials of the All-Russian school-seminar dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmarka, 21–22 April, 2022, Perm, PSU, pp. 232–236. (in Russian)*
3. Zhulidov, A., Horuzhaya, T., Predeina, L., Ba-kaeva, E. and Morozova E., 1994. Rekomendacii. Metody toksikologicheskoy ocenki zagryazneniya presnovodnyh ekosistem [Recommendations. Methods of toxicological assessment of pollution of freshwater ecosystems]. Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Moscow, 136 p. (in Russian)
4. Kozlova, A., and Zueva, N., 2021. Ecological status of a small river: Evaluation using composite indices. *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 5. pp. 32–44. <https://doi.org/10.17076/eco1455> (in Russian)
5. Kosheleva, I., Kosarev, A., Savina, K. and Pankratova, Yu. 2021. Perspektivy gigienicheskogo monitoringa poverhnostnyh vodoistozhnikov s primeneniem mikro-vodoroslej roda *Chlorella* kak biotest-ob"ektov [Prospects for hygienic monitoring of surface water sources using microalgae of the genus *Chlorella* as biotest objects]. In: Popova, A.(ed.) *Fundamental and applied aspects of public health risk analysis: Proceedings of the All-Russian scientific and practical Internet conference of young scientists and specialists of Rospotrebnadzor with international participation, 11–15 October, 2021, Perm, PSTU, pp. 51–59. (in Russian)*
6. Kurynceva, P. and Galickaya, P. 2018. Metody biotestirovaniya primenyaemye dlya ocenki toksichnosti ob"ektov okruzhayushchej sredy (Metodicheskie ukazaniya k special'nomu praktikumu po prikladnoj ekologii) [Biotesting methods used to assess the toxicity of environmental objects (Guidelines for a special workshop on applied ecology)]. Kazan, KPFU publ. 43 p. (in Russian)
7. Onerkhan, G., Durmekbaeva, Sh. and Akhmetova, N. 2019. Kopa lake pollution biotesting using chlorella sp-3K cells. *Bulletin of science and education*, 18(72). pp. 25–28. (in Russian)
8. PND F T 14.1:2:3:4.10-04 Toksikologicheskie metody kontrolya. Metodika izmerenij opticheskoy plotnosti kultury vodorosli hlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer) dlya opredeleniya toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnyh i stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz gruntov, pochv, osadkov stochnykh vod, othodov proizvodstva i potrebleniya [Toxicological methods of control. Method for measuring the optical density of a culture of chlorella algae (*Chlorella vulgaris* Beijer) for determining the toxicity of drinking, fresh natural and waste waters, water extracts from soils, soils, sewage sludge, production and consumption wastes]. Federal Service for Supervision of Natural Resources. 2014. Moscow. 36 p. (in Russian)
9. Sagitova, E. and Khotyanovskaya, Y. 2021. Assessment of the water quality of small rivers of perm by bioassay methods. In: Buzmakov, S.(ed.) *Ecological safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: Collection of materials of the All-Russian school-seminar dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmarka, 22–23 April, 2021, Perm, PSU, pp. 300–304. (in Russian)*
10. Sentyurova, M. and Vishnyakov, A., 2016. Determination of oil products and water toxicity in the Yenisey

- River and its tributaries within the Krasnoyarsk city boundaries in different seasons. *Systems. Methods. Technologies*, 1 (29), pp. 140–146 <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2016-1-140-146> (in Russian)
11. Chupis, V., Zhuravlyova, L., Zhirnov, V., Larin, I., Lushchaj, E., Emelyanova, N., Ilina, E. and Ivanov, D. 2008. Ocenka kachestva vody vodoyoma-ohladyatelya Balakovskoy atomnoj elektrostancii metodami biomonitoringa [Water quality assessment reservoir-cooler of the Balakovo nuclear power plant using biomonitoring methods]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2. pp. 43–50. (in Russian)
12. Adochite, C. and Andronic, L. 2021. Aquatic Toxicity of Photocatalyst Nanoparticles to Green Microalgae *Chlorella vulgaris*. *Water*. 13(1). 77. <https://doi.org/10.3390/w13010077>
13. Barinova, S. and Mamanazarova, K. 2021. Diatom Algae-Indicators of Water Quality in the Lower Zarafshan River, Uzbekistan. *Water*. 13(3). 358. <https://doi.org/10.3390/w13030358>
14. Expósito, N., Carafa, R., Kumar, V., Sierra, J., Schuhmacher, M. and Papiol, G. 2021. Performance of *Chlorella Vulgaris* Exposed to Heavy Metal Mixtures: Linking Measured Endpoints and Mechanisms. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 18(3). 1037. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031037>
15. Feio, M., Hughes, R., Callisto, M., Nichols, S., Odume, O., Quintella, B., Kuemmerlen, M., Aguiar, F., Almeida, S., Alonso-EguíaLis, P., Arimoro, F., Dyer, F., Harding, J., Jang, S., Kaufmann, P., Lee, S., Li, J., Macedo, D., Mendes, A., Mercado-Silva, N., Monk, W., Nakamura, K., Ndiritu, G., Ogden, R., Peat, M., Reynoldson, T., Rios-Touma, B., Segurado, P. and Yates, A. 2021. The Biological Assessment and Rehabilitation of the World's Rivers: An Overview. *Water*. 13(3). 371. <https://doi.org/10.3390/w13030371>
16. He, L., Chen, Y., Wu, X., Chen, S., Liu, J. and Li, Q. 2020. Effect of Physical Factors on the Growth of *Chlorella Vulgaris* on Enriched Media Using the Methods of Orthogonal Analysis and Response Surface Methodology. *Water*. 12 (1). 34. <https://doi.org/10.3390/w12010034>
17. Kucherik, G., Omelchuk, Yu. and Sytnikov, D. 2022. Biotesting of quarry lakes as an alternative source of drinking water supply. *Scientific Notes of Crimean V. I. Vernadsky Federal University Biology. Chemistry*, 8(74), pp. 87–92.
18. Tugcu, G., Ertürk, M. and Saçan, M. 2017. On the aquatic toxicity of substituted phenols to *Chlorella vulgaris*: QSTR with an extended novel data set and interspecies models. *Journal of Hazardous Materials*, 339, pp. 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.06.027>
19. Umar, L., Setiadi, R., Hamzah, Y. and Linda, T. 2017. An arduino uno based biosensor for water pollution monitoring using immobilised algae *Chlorella vulgaris*. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 10, pp. 955–975. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2018-027>
20. Xu, R., Pei, Z., Wang, W., Zhang, M., Zhang, L., Zhang, J., Wang, W., Sun, L. and Zhang, Y. 2020. Assessment of Biological Toxicity and Ecological Safety for Urban Black-Odor River Remediation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 1025. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031025>
21. Zhang, M., Wang, H., Liu, P., Song, Y., Huang, H., Shao, M., Liu, Y., Li, H. and Kang Z. 2019. Biototoxicity of Degradable Carbon Dots towards Microalgae *Chlorella vulgaris*. *Environmental Science: Nano*, 6. <https://doi.org/10.1039/C9EN00829>

Статья поступила в редакцию 20.02.2023; одобрена после рецензирования 20.03.2023; принята к публикации 26.04.2023.

The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 20.03.2023; accepted for publication 26.04.2023