

УДК 582.574.21

**БИОИНДИКАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ
И СТРУКТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АЛЬГОЦЕНОЗОВ МАЛОЙ РЕКИ
ПРИ ОЦЕНКЕ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

© 2023 О.Г. Горохова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,
г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 25.08.2023

Проведены исследования состава и структуры сообществ фитопланктона малой реки (р. Уса, бассейн Куйбышевского водохранилища) на участке воздействия точечного источника загрязнения. Сравнительный анализ выявил изменение структуры альгоценозов в зоне выпуска очищенных сточных вод с. Шигоны (Самарская обл.). Показано увеличение индекса сапробности и разнообразия видов-индикаторов повышенной степени сапробности, а также усиление роли мелко-клеточных видов в фитопланктоне на этом участке. Вместе с тем видовое разнообразие в месте сброса и ниже по течению сравнимо с другими участками реки; индексы сапробности находятся в пределах β-мезосапробной зоны, III класса качества (умеренное загрязнение). В целом влияние сточных вод в исследуемый период локализовано в месте сброса.

Ключевые слова: фитопланктон, биоиндикация, очистные сооружения, р. Уса, Куйбышевское водохранилище, Волга.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-119-124

EDN: WGPXQ

ВВЕДЕНИЕ

Использование человеком водных ресурсов малых и средних рек в основном заключается в регулировании режима стока и водозаборе, кроме того реки используют для сброса в различной степени очищенных промышленных и бытовых сточных вод. В совокупности с хозяйственной деятельностью на водосборной площади эти факторы нередко приводят к ухудшению качества воды рек. Оценка состояния и прогнозирование изменений водных экосистем при антропогенном загрязнении и эвтрофировании – важная задача гидробиологии [1]. Изменения среды обитания можно проследить по вызванным ими структурно-функциональным преобразованиям сообществ водных организмов, а, учитывая это, оценить состояние природного объекта по биологическим показателям.

Альгологические исследования, проводимые нами на малых реках Самарской и сопредельных областей, включают оценку биоразнообразия и структурных особенностей сообществ водорослей рек в зависимости от гидрологических условий, антропогенного влияния, изменения содержания биогенных веществ [12, 5, 2].

*Горохова Ольга Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии малых рек. iD ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6014-9841>
E-mail: o.gorokhova@yandex.ru*

Одна из задач – выявление и оценка значимости показателей альгоценозов рек для характеристики условий среды обитания. Выбор станций наблюдений предусматривал оценку состояния биоты до и после населенных пунктов, кроме того, по возможности, проводили сбор проб в местах с известным источником антропогенного воздействия или загрязнения (запруды, места сброса сточных вод).

Оценка состояния водных экосистем возможна на основе мониторинга и системного характера исследований, которые позволяют судить о качестве вод, контролировать и прогнозировать направленность и скорость изменения происходящих процессов. Для малой реки Уса (бассейн Куйбышевского водохранилища) современные гидробиологические исследования проведены сотрудниками лабораторий Института экологии Волжского бассейна РАН и относятся к периоду 2015-2021 гг. В результате опубликован ряд статей и паспорт водного объекта [12, 3, 5, 10]. Экологическое состояние р. Уса оценено по совокупности абиотических факторов, гидролого-гидрохимическим характеристикам, структурным и продукционным показателям биоты. Река охарактеризована как «малый водоток, испытывающий умеренный антропогенный пресс с локальной повышенной нагрузкой в местах выпуска сточных вод и в Усинском заливе Куйбышевского водохранилища» [5].

Цель данной работы – оценить значимость показателей сообществ водорослей реки в зоне воздействия точечного источника загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характеристика района исследования. Река Уса – равнинный водоток, длиной 76 км (143 км, включая Усинский залив Куйбышевского водохранилища – нижнее течение реки в подпоре) и площадью бассейна 2276 км² (3352 км с учетом залива). Рельеф водосбора волнистый, долина реки пойменная с выходом родников, берега пологие [4, 5]. Глубины от 5–10 см в истоке до 3–4 м в нижнем течении при переходе в Усинский залив. По берегам р. Уса и её притоков (рис. 1) расположено около 30 населенных пунктов, из них не менее половины с численностью более 1 тысячи жителей. Наименее подвержен антропогенному воздействию участок реки до впадения р. Теренгулька (рис. 1). Ниже по течению (от с. Суринск) основными источниками поступления загрязняющих веществ в водоток являются сбросы коммунально-бытовых сточных вод и поверхностный сток с водосборной площади (сельхозугодия, населенные пункты, турбазы).

Водные ресурсы р. Уса используются в рекреационных, рыбохозяйственных и хозяйственно-бытовых целях. Поэтому гидрохимические характеристики определяли по нормативам ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения, пробы брали одновременно с отбором гидробиологических проб [5]. Гидрохимические параметры определены аккредито-

ванной лабораторией ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды» г. Самара [5]. Исследование воздействия локальной антропогенной нагрузки проведено на участке в районе выпуска очищенных сточных вод МП «УК ЖКХ» с. Шигоны (рис. 1).

По химическому составу вода р. Уса и её притоков гидрокарбонатного класса группы кальция, средней минерализации, величина рН – в пределах нейтральных и слабощелочных значений [5]. Из биогенных элементов отмечено превышение нормативного показателя содержания Р-Р_{О₄} до 9–18 ПДК на разных участках течения р. Уса, концентрации N-NO₂ – до 3 ПДК. По содержанию N_{мин} и P_{мин} воды реки соответствуют мезо- и эвтрофному типу [5, 12]. К основным загрязняющим веществам р. Уса и её наиболее крупного притока Теренгулька относятся: фосфаты, нитриты, соединения Cu, Mn, Fe, фенолы [5].

На участке реки от верхнего течения до зоны взаимодействия с водами Усинского залива (рис. 1) в разные годы отбирали пробы на 6–8 станциях: у поселков Гремячий (или с. Смолькино), Елшанка, Гавриловка, Суринск (до и после села), Шигоны (до и после села), Пионерский. Для изучения влияния сточных вод на сообщества водорослей сбор проб проведен в 1–2 км до места сброса и после него, а также примерно в 4 км ниже по течению – у п. Пионерский (рис. 1).

Сбор и обработка материала. Альгологические исследования р. Уса и её притоков проведены в составе комплексных экспедиций в июле 2017, 2018, 2021 гг. Сбор и обработка проб соответствуют методам, принятым при гидробио-



Рис. 1. Схема района и расположение станций на участке исследования воздействия сброса сточных вод

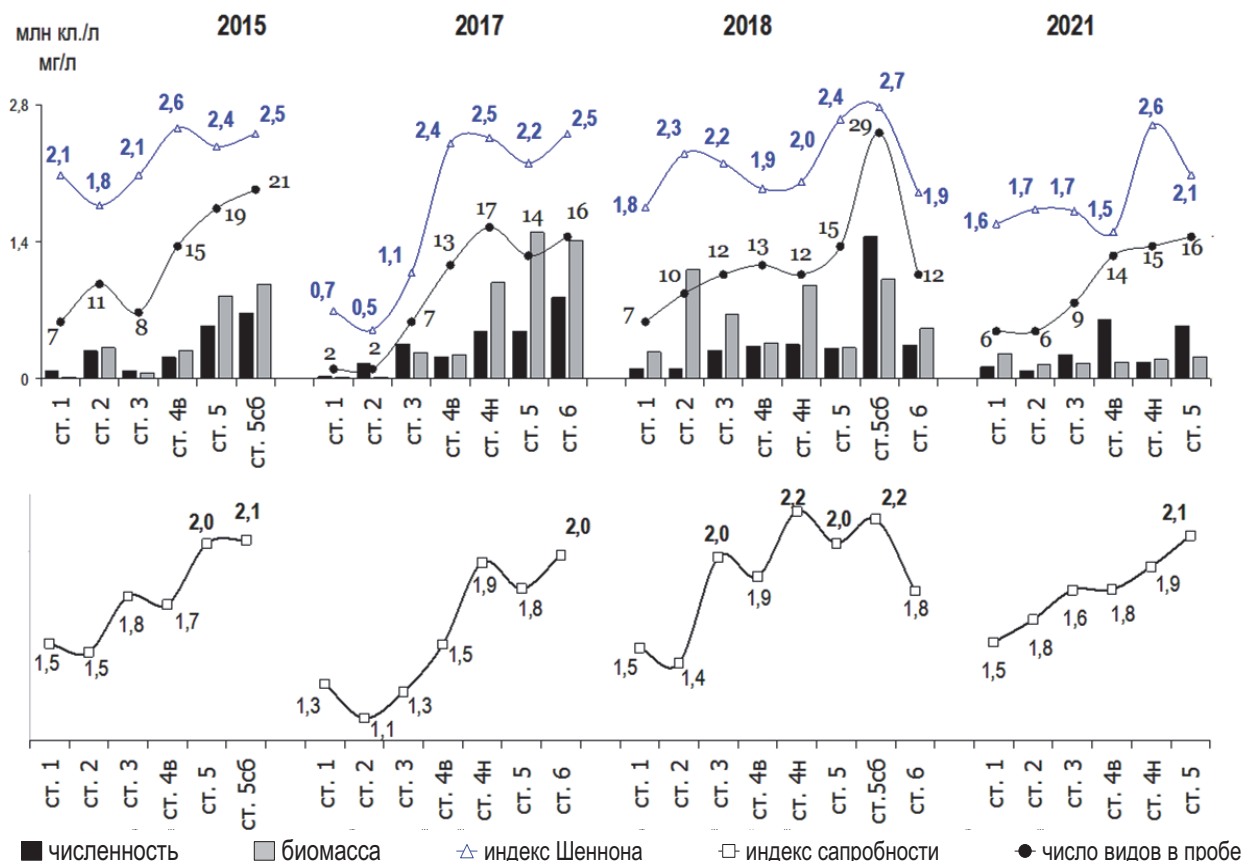
логических исследованиях [8]. Характеристика альгоценозов дана по следующим показателям: численность (млн кл./л), биомасса (мг/л), удельное видовое богатство (число видов в пробе), видовое разнообразие, оцененное по индексу Шеннона. К массовым (субдоминантам и доминантам) отнесены виды, формирующие соответственно 5-10 % и более 10 % суммарной численности или биомассы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Структурные особенности альгоценозов р. Уса. Для оценки экологического состояния реки по показателям фитопланктона проведен сравнительный анализ количественных и структурных характеристик альгоценозов. Он показал, что изменения величин летней биомассы (рис. 2) в разные годы на одних и тех же станциях не имеют выраженной направленности и связаны с размерной структурой сообществ водорослей. Несколько более заметны межгодовые соответствия изменений таких показателей как: численность, индексы сапробности и видового разно-

образия в альгоценозах – их величины в целом возрастают вниз по течению (рис. 2). Это особенно выражено на станциях 4н – ниже с. Суринск и впадения в р. Уса её притока (р. Теренгульки), а также на станциях 5 и 5сб – в районе с. Шигоны (рис. 1). Для исследованных рек нами отмечено, что наличие запруженных участков, населенных пунктов, впадение притоков часто способствует эвтрофированию и росту содержания органических веществ в воде. В свою очередь на изменение условий реагирует структура альгоценозов и величина индексов сапробности [5, 12].

Фитопланктон реки на участке от с. Суринск до п. Пионерский. По данным гидрохимического анализа 2017-2018 гг., экологическое состояние участка реки Уса от места впадения её притока Теренгульки до Усинского залива (рис 1.) оценено как «относительно удовлетворительное» [5, 12]. На участке сброса вод очистных сооружений в районе с. Шигоны и ниже по течению существенного изменения концентрации определяемых веществ отмечено не было. Содержание лабильной фракции органического вещества (БПК₅) не превышало нормативы, установлен-



Соотнесение нумерации станций с населенными пунктами на рис. 1 следующее:

- ст. 1 – исток у п. Гремячий; ст. 2 – с. Елшанка; ст. 3 – с. Гавриловка;
- ст. 4в – выше с. Суринск, ст. 4н – ниже с. Суринск; ст. 5 – с. Шигоны,
- ст. 5сб – с. Шигоны (участок сброса сточных вод); ст. 6 – с. Пионерское

Рис. 2. Изменение численности и биомассы фитопланктона р. Уса, индексов видового разнообразия и сапробности в альгоценозах в 2015, 2017, 2018, 2021 гг.

ные для природных вод рыбохозяйственного назначения, концентрации кислорода не падали ниже нормативных и находились в диапазоне 7,7–7,9 мг/дм³, что соответствует 75–83% насыщения [12]. В то же время в опубликованном «Экологическом паспорте реки Усы» [5] рекомендован контроль за очистными сооружениями райцентра Шигоны, необходимость которого обусловлена ростом строительства коттеджей, жилых домов, турбаз и физическим износом самих очистных [12].

В фитопланктоне на участке от с. Суринск до п. Пионерский таксономический состав и структуру определяли Bacillariophyta и Chlorophyta, представители этих же отделов имели ведущее ценобиотическое значение, что характерно для р. Уса и её притоков [12]. Диапазон численности составил 0,17–1,45 млн кл./л, биомассы – 0,17–1,01 мг/л. По численности преобладали планктонные виды водорослей, среди доминантов по биомассе немало факультативно-планктонных форм. Структура альгоценозов характеризуется относительно высоким разнообразием и выравниванностью (см. рис. 2, индекс Шеннона), вклад каждого из преобладающих видов в суммарную численность или биомассу не превышает 30%.

Рассмотрим состав видов, развивающихся в планктоне на этом участке. На всех станциях в качестве доминирующих отмечены диатомовые – *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Fragilaria capucina* Desmaz., *Melosira varians* Ag., а также

зеленые водоросли – виды рода *Scenedesmus* и *Chlamydomonas*. Менее регулярны в составе доминантов *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *Stephanodiscus minutulus* (Kütz.) Cl. & Möller и другие мелкогабаритные виды класса Centrophyceae (диатомовые); из зеленых водорослей – *Pandorina morum* (O. F. Müll.) Bory, *Actinastrum hantzschii* Lagerh., виды рода *Monoraphidium*. Большинство из этих видов широко распространены в мезотрофно-эвтрофных водах и характерны для планктона равнинных рек и водохранилищ Волги. Наряду с вышеперечисленными видами, на участке в районе с. Шигоны и ниже очистных сооружений доминирующий комплекс водорослей отличается присутствием цианобактерий (*Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. & Cronb., *Oscillatoria limosa* Ag.), криптофитовых (*Chroomonas acuta* Uterm.) и эвгленовых (родов *Euglena* и *Trachelomonas*).

Такие виды как: *Stephanodiscus hantzschii*, *S. minutulus*, *Oscillatoria limosa* и *Chroomonas acuta*, являются показателями повышенной степени органического загрязнения. На это же указывает появление в планктоне видов рода *Euglena* (*E. caudata* Hubner) и некоторых хламидомонад (*Chlamydomonas reinhardtii* Dang., *C. simplex* Pasch.). Кроме того, ниже участка очистных в альгоценозах отмечено разнообразие видов рода *Nitzschia* (*N. palea* (Kütz.) W. Sm., *N. acicularis* (Kütz.) W. Sm., *N. capitellata* Hustedt и др.). Для некоторых видов этого рода исследователи отмечают устойчивость

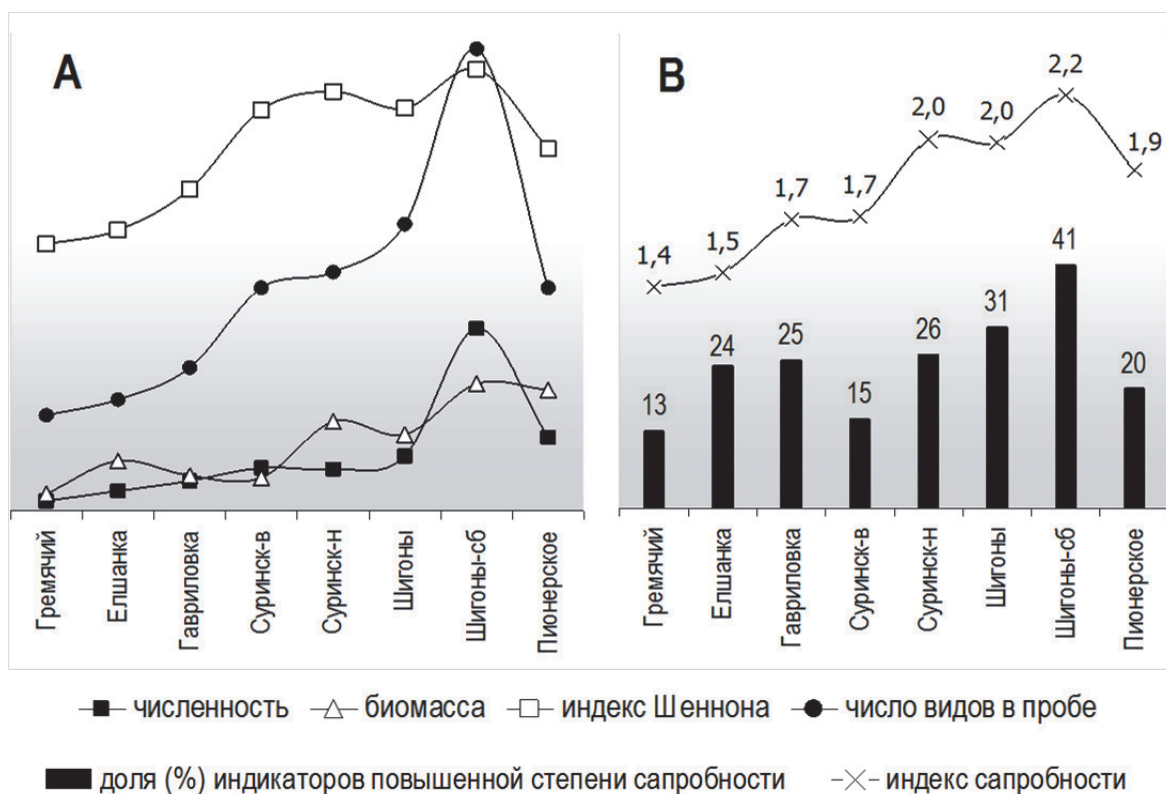


Рис. 3. Динамика средних за период исследований величин численности, биомассы, числа видов и индекса Шеннона (А), а также индекса сапробности и доли числа индикаторов повышенной степени сапробности (В)

к загрязнению, а для *Nitzschia palea* показана способность очищать сточные воды от аммиака, нитратов, фосфора [11, 13].

Помимо доминирующих видов, показательное соотношение в планктоне числа видов-индикаторов различной степени сапробности. Так за очистными (рис. 3В, ст. Шигоны-сб) отмечена максимальная доля (41%) индикаторов повышенной степени сапробности: β - α -, α - и α - β -мезосапробов, ρ - α -мезосапробов. Несмотря на то, что эти виды не относятся к массовым, их разнообразие на участке после очистных свидетельствует об увеличении содержания органических веществ.

Кроме видового состава изменяются и количественные показатели альгоценозов. На рис. 3 показана динамика их средних значений за годы исследований; как видно на станции в районе очистных их величины максимальны (рис. 3А).

При оценке размерной структуры альгоценозов реки по соотношению численности и биомассы фитопланктона (N/V) отмечено, что наиболее высокие значения также соответствуют станции в районе сброса сточных вод. Это свидетельствует об уменьшении размерности клеток водорослей, что рассматривается исследователями как признак повышения уровня трофии вод и преимуществу наиболее физиологически активных «мелких» видов [7, 9, 6].

Все эти особенности таксономической и количественной структуры сообществ фитопланктона следует считать ответом на эвтрофирующее влияние крупного населенного пункта и выпуска стоков очистных сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таксономические и структурные показатели альгоценозов малой реки на участке точечного источника антропогенного воздействия являются информативными показателями экологического состояния. Наиболее применима такая оценка в условиях небольшой антропогенной нагрузки, так как позволяет выявить те незначительные изменения, которые не всегда выявляются методами гидрохимического анализа.

К таким изменениям следует отнести: повышение индекса сапробности и присутствие среды массовых видов показателей повышенной степени органического загрязнения (*Oscillatoria limosa*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Chroomonas acuta*), разнообразие в планктоне видов-индикаторов повышенной степени сапробности в целом, а также увеличение роли мелкоклеточных видов в сообществе на этом участке.

В то же время существенных негативных явлений в период наших исследований не выявлено. Видовое разнообразие на участке сброса высокое (рис. 2, 3), а ниже по течению сравнимо с

другими участками реки. Индексы сапробности находятся в пределах β -мезосапробной зоны, III класса качества (умеренное загрязнение), как и на всём участке Суринск-Пионерское. Повидимому, при отсутствии биогенного лимитирования, небольшое органическое загрязнение способствовало развитию адаптированных к нему видов и не привело к радикальной перестройке альгоценозов на участке сброса и ниже по течению.

В целом можно заключить, что сточные воды в исследуемый период оказывали влияние на альгоценозы реки Уса, но влияние это локализовано в месте сброса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф. Алимов. – СПб.: Наука, 2000. – 147 с.
2. Горохова, О.Г. Состав и структура сообществ фитопланктона реки Самары (бассейн Саратовского водохранилища) / О.Г. Горохова // Ученые записки Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2020. – Т. 162. – Кн. 3. – С. 413-429.
3. Горохова, О.Г. Состав и структура альгофлоры реки Уса и её притоков (бассейн Куйбышевского водохранилища) / О.Г. Горохова // Бюлл. «Самарская Лука»: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2019. – № 1. – С. 27-39.
4. Зинченко, Т.Д. Реки // Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы / Т.Д. Зинченко, Л.В. Головатюк. – Самара: СНЦ РАН, 2007. – С. 22-29.
5. Зинченко, Т.Д. Экологический паспорт реки Усы (правобережный приток Волги) / Т.Д. Зинченко, С.В. Саксонов, С.А. Сенатор, А.К. Минеев, Л.В. Головатюк, О.Г. Горохова, С.Э. Болотов, Е.М. Курина, Э.В. Абросимова, М.В. Уманская, Р.С. Кузнецова, Р.А. Михайлов, Т.В. Попченко // Бюлл. «Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии». – 2019. – Т. 28. – № 2. – С. 156-188.
6. Корнева, Л.Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги / Л.Г. Корнева. – Кострома: Костромской печатный дом, 2015. – 284 с.
7. Лаврентьева, Г.М. Фитопланктон малых удобряемых озер / Г.М. Лаврентьева. – М.: Агропромиздат, 1986. – 102 с.
8. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
9. Михеева, Т.М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук / Т.М. Михеева. – Минск, 1992. 63 с.
10. Уманская, М.В. Трансформация одноклеточного планктона в системе река-залив-равнинное водохранилище в начальной фазе цианобактериального цветения / М.В. Уманская, С.В. Быкова, М.Ю. Горбунов, Е.С. Краснова, Н.Г. Тарасова // Известия Самарского научного центра РАН, 2021. – Т. 23. – № 5. – С. 144-151.
11. Al-Hassany J.S., Alrubai G.H., Jasim I.M. The potential use of the diatom *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith For the Removal of Certain Pollutants from

- Al-Rustumeyah Wastewater Treatment Plant in Baghdad-Iraq // IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. Vol. 779. 2021. pp. 1-5.
12. Gorokhova O.G., Zinchenko T.D. Phytoplankton of the Usa River (Kuibyshev Reservoir Basin) // Biology Bulletin (Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk Seriya Biologicheskaya) 2019. Vol. 46. No. 10. pp. 1382-1389.
13. Pittman J.K., Dean A.P., Osundeko O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources // Bioresource Technology Vol. 102. Iss. 1. 2011. P. 17-25.

BIOINDICATIVE VALUE OF TAXONOMIC AND STRUCTURAL INDICATORS OF PLANKTON ALGAE COMMUNITIES FOR ASSESSING A POINT SOURCE OF ANTHROPOGENIC IMPACT

© 2023 O.G. Gorokhova

Samara Federal Research Center RAS, Institute of the Ecology of the Volga Basin RAS, Togliatti, Russia

Phytoplankton studies were carried out in a small river (the Usa River, the Kuibyshev Reservoir basin) in the area affected by a point source of pollution. Comparative analysis revealed a change in the structure of phytoplankton in the wastewater discharge zone of the village of Shigony (Samara region). An increase in the saprobity index, a variety of species-indicators of an increased degree of saprobity, as well as an increase in the role of small-celled species in the community in this area are shown. At the same time, the species diversity at the discharge site and downstream is comparable to other parts of the river. The saprobity indices are within the β -mesosaprobic zone, quality class III (moderate pollution). In general, the impact of wastewater during the study period is localized at the place of discharge.

Keywords: phytoplankton, bioindication, treatment facilities, Usa river, Kuibyshev reservoir, Volga.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-119-124

EDN: WGPNXQ

REFERENCES

1. Alimov, A.F. Elementy teorii funkcionirovaniya vodnyh ekosistem / A.F. Alimov. – SPb.: Nauka, 2000. – 147 s.
2. Gorokhova, O.G. Sostav i struktura soobshchestv fitoplanktona reki Samary (bassejn Saratovskogo vodohranilishcha) / O.G. Gorokhova // Uchenye zapiski Kazan. un-ta. Ser. Estestv. nauki. – 2020. – T. 162. – Kn. 3. – S. 413-429.
3. Gorokhova, O.G. Sostav i struktura al'goflory reki Usa i eyo pritokov (bassejn Kujbyshevskogo vodohranilishcha) / O.G. Gorokhova // Byull. «Samarskaya Luka»: problemy regional'noj i global'noj ekologii. – 2019. – № 1. – S. 27-39.
4. Zinchenko, T.D. Reki // Golubaya kniga Samarskoj oblasti: Redkie i ohranyaemye gidrobiocenozy / T.D. Zinchenko, L.V. Golovatyuk. – Samara: SNC RAN, 2007. – S. 22-29.
5. Zinchenko, T.D. Ekologicheskij pasport reki Usy (pravoberezhnyj pritok Volgi) / T.D. Zinchenko, S.V. Saksonov, S.A. Senator, A.K. Mineev, L.V. Golovatyuk, O.G. Gorokhova, S.E. Bolotov, E.M. Kurina, E.V. Abrosimova, M.V. Umanskaya, R.S. Kuznecova, R.A. Mihajlov, T.V. Popchenko // Byull. «Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii». – 2019. – T. 28. – № 2. – S. 156-188.
6. Korneva, L.G. Fitoplankton vodohranilishch bassejna Volgi / L.G. Korneva. – Kostroma: Kostromskoj pechatnyj dom, 2015. – 284 s.
7. Lavrent'eva, G.M. Fitoplankton malyh udobryaemyh ozer / G.M. Lavrent'eva. – M.: Agropromizdat, 1986. – 102 s.
8. Metodika izucheniya biogeocенозов vnutrennih vodoemov. – M.: Nauka, 1975. – 240 s.
9. Miheeva, T.M. Struktura i funkcionirovanie fitoplanktona pri evtrofirovanii vod: Avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk / T.M. Miheeva. – Minsk, 1992. 63 s.
10. Umanskaya, M.V. Transformaciya odnokletochnogo planktona v sisteme reka-zaliv-ravninnoe vodohranilishche v nachal'noj faze cianobakterial'nogo cveteniya / M.V. Umanskaya, S.V. Bykova, M.YU. Gorbunov, E.S. Krasnova, N.G. Tarasova // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2021. – T. 23. – № 5. – S. 144-151.
11. Al-Hassany J.S., Alrubai G.H., Jasim I.M. The potential use of the diatom *Nitzschia palea* (Kutzing) W. Smith For the Removal of Certain Pollutants from Al-Rustumeyah Wastewater Treatment Plant in Baghdad-Iraq? // IOP Conf. Ser.: Earth and Environ. Sci. Vol. 779. 2021. pp. 1-5.
12. Gorokhova O.G., Zinchenko T.D. Phytoplankton of the Usa River (Kuibyshev Reservoir Basin) // Biology Bulletin (Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk Seriya Biologicheskaya) 2019. Vol. 46. No. 10. pp. 1382-1389.
13. Pittman J.K., Dean A.P., Osundeko O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources // Bioresource Technology Vol. 102. Iss. 1. 2011. P. 17-25.