



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 3 (41). Сентябрь, 2021

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов
A. Gugolek B.
J. B. Jakovlev
R. Krasnov
J. P. Kurhinen

Службы поддержки

А. А. Зорина
А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК 574.586 + 574.587

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ АЛЬГОЦЕНО- ЗОВ БЕНТАЛИ КАК ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕ- СТВА ВОДЫ УСТЬЯ Р. ОКИ (РОССИЯ)

ХЕДАИРИА
Табет Мохамидович

ННГУ им. Н. И. Лобачевского, khedairiatabet1989@gmail.com

ОХАПКИН
Александр Геннадьевич

д.б.н., ННГУ им. Н. И. Лобачевского, okhapkin@bio.unn.ru

Ключевые слова:
экологические
характеристики
р. Ока
диатомовые
водоросли
индексы сапробности

Аннотация: На основе характеристик состава и структуры таксоценоза донных диатомовых водорослей дана оценка экологического состояния и качества воды устьевоего участка р. Оки (в районе г. Нижнего Новгорода) – второго по лимнологическим показателям притока р. Волги. Показано, что высокие видовая насыщенность донных альгоценозов диатомовыми водорослями и их обилие позволяют в целом получить надежные биоиндикационные характеристики. Продемонстрировано удовлетворительное соответствие экологических показателей диатомовой флоры химизму окских вод, дана сравнительная оценка значений индексов сапробности, подсчитанных с использованием списков индикаторных организмов разных авторов, а также индексов эвтрофикации / загрязнения (EPI) и загрязнения Т. Ватанабе с преимуществом применения списка R. Wegl (1983). Применение различных подходов к оценке качества воды достоверно отразило пространственные и временные аспекты процессов самоочищения в реке и продемонстрировало сходные результаты. В период максимальных скоростей самоочищения минимальная степень загрязнения органическими веществами вод р. Оки соответствовала уровню средних значений β-мезосапробной зоны. При этом биоиндикация по сообществам эпилитона дала несколько лучшие результаты в сравнении с сообществами эпифитона и эпипелона.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Е. В. Лепская

Получена: 24 февраля 2021 года

Подписана к печати: 07 июля 2021 года

Введение

Биотические компоненты проточных водных экосистем являются важными критериями оценки качества воды и экологического состояния водоемов. Для этих целей таксономический состав, численность и соотношение чувствительных и нечувствительных таксонов рассматриваются как биологические индикаторы качества воды (Chaib, Tison-Rosebery, 2012). В России в общегосударственной системе оценки вод водоемов и водотоков (Росгидромет) среди принятых

гидробиологических показателей для автотрофного звена водных экосистем рассматриваются параметры фитопланктона (состав, обилие, доминирующие виды, первичная продукция, индекс сапробности), среди бентосных – перифитона. С 2000 г. в странах ЕС регламентами Рамочной водной директивы (ВРД) (European Community..., 2000) значительное внимание при экологической оценке водоемов уделяется бентосу, а среди его автотрофной компоненты – диатомовым водорослям, которые в лотических экосисте-

мах являются наиболее значимой по видовому богатству группой (Round et al., 1990; Diatomeen..., 2013).

В большинстве стран Европы и США фитобентос широко используется для целей мониторинга качества воды в реках (Whitton, Rott, 1996; Prygiel et al., 1999; Оксийук, Давыдов, 2011, 2012). В России среди биологических компонентов качества доминирует характеристика сапробности в основном по фитопланктону. Река Волга и ее водохранилища в этом отношении изучены достаточно хорошо, продемонстрирована индикационная роль системы сапробности, применение которой позволило отразить происходившие на протяжении XX века процессы загрязнения и эвтрофирования вод реки (Волга и ее жизнь, 1978; Охупкин, 2011). При этом данные по оценке качества воды по индикаторным видам фитопланктона р. Оки немногочисленны (Охупкин, 1994, 2011).

Поскольку диатомовые водоросли, как наиболее разнообразный и значимый компонент фитобентосного комплекса с хорошо известными экологическими характеристиками (Kelly, 2000), активно применяются для биологического мониторинга лотических экосистем (Bere, Tundisi, 2010), исследова-

ния их состава, пространственно-временной динамики и показательных возможностей имеют несомненный интерес для оценки качества воды р. Оки.

Цель работы – на основе исследований видового состава и структуры диатомовых комплексов донных альгоценозов дать их экологическую характеристику, в сравнительном аспекте оценить возможности различных подходов определения качества воды и современного ее состояния по организмам фитобентоса.

Материалы

Пробы фитобентоса отбирали на 3 станциях, расположенных в рипапи правобережья р. Оки в пределах г. Нижнего Новгорода (рис. 1) летом (первая декада июля) и осенью (первая декада ноября) 2018 г. на глубине 1.0–1.5 величины прозрачности по диску Секки. Температура воды в июле изменялась от 24 до 27°, а в ноябре была практически одинакова на всех станциях (4.9°). Прозрачность воды (0.5–0.8 м) как летом, так и осенью была невелика, а ее электропроводность осенью колебалась в пределах 634–663.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Активная реакция среды, достигая в июле 8.3–8.7, осенью изменялась незначительно (7.8–8.1).

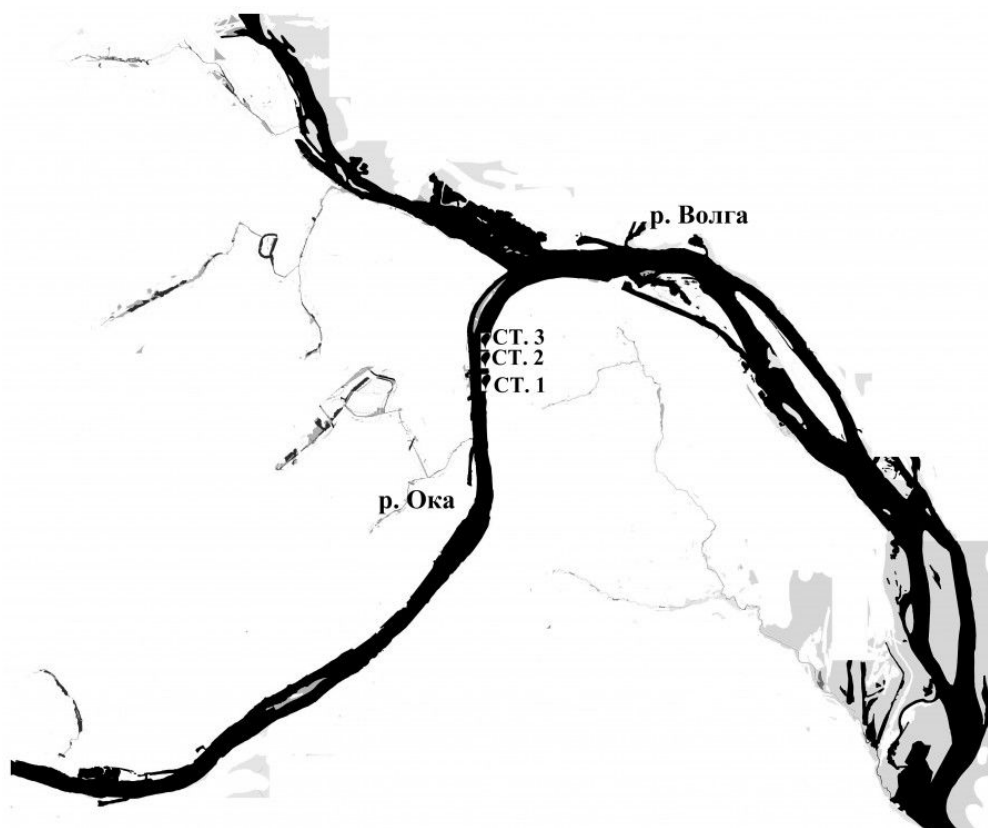


Рис. 1. Карта-схема устья р. Оки с расположением станций отбора проб
Fig. 1. Map of the mouth of the Oka river with the location of sampling stations

Грунты изученного нами участка правобережья р. Оки представлены в основном илами и сильно заиленными песками с вкраплением каменистого субстрата, сформированного преимущественно известняками. Высшая водная и прибрежно-водная растительность развита довольно слабо и представлена отдельными куртинами стрелолиста и немногочисленными особями кубышки и рдеста.

Река Ока – это второй по величине русла и объему стока крупный приток реки Волги (длина 1500 км, площадь водосбора 24500 км²), оказывающий важную роль в формировании гидрологического, гидрохимического и гидробиологического ее режимов, особенно речного участка Чебоксарского водохранилища до устья р. Суры. Качество окских

вод на протяжении последних десятилетий оставалось низким и, по данным Верхне-Волжского управления по гидрометеорологии и контролю природной среды (УГКС), оценивалось 4-м классом. Характеристика гидрохимического состава вод р. Оки в пределах города, по данным этой организации (табл. 1), демонстрирует, что воды устьевого участка реки в пределах г. Н. Новгорода отличались высокой мутностью, повышенными концентрациями минеральных форм азота, фосфора, органического вещества, тяжелых металлов и других компонентов загрязнения. Река, как и ранее (Охупкин и др., 2015; Джамалов и др., 2017), относится к категории эвтрофно-гипертрофных водных объектов с высоким уровнем антропогенного влияния.

Таблица 1. Гидрофизические и гидрохимические показатели вод устья р. Оки (2018 г., данные Верхне-Волжского УГКС)

Показатели	VI–VII 2018 г.	X–XI 2018 г.
pH	8.23 ± 0.16	8.49 ± 0.04
Взвешенные вещества, мг/л	23.3 ± 3.53	12.4 ± 2.03
Растворенный кислород, мг O ₂ /л	8.60 ± 0.09	10.2 ± 0.42
Сумма ионов, мг/л	349*	596*
Ионы Ca ²⁺ , мг/л	60.2*	85.6*
Ионы Mg ²⁺ , мг/л	26.7*	25.5*
Сумма ионов, Na ⁺ + K ⁺ , мг/л	9.6*	46.0*
Гидрокарбонаты, HCO ₃ ⁻ , мг/л	128.0*	229.0*
Сульфаты, SO ₄ ²⁻ , мг/л	106.0*	182.0*
Хлориды, Cl ⁻ , мг/л	27.1*	27.6*
БПК ₅ , мг O ₂ /л	3.0 ± 0.56	2.19 ± 0.31
ХПК, мг O ₂ /л	24.4 ± 4.6	28.8 ± 1.7
Азот нитратов, NO ₃ ⁻ , мг N/л	1.152*	0.91 ± 0.04
Азот нитритов, NO ₂ ⁻ , мг N/л	0.013 ± 0.006	0.02 ± 0.006
Азот аммонийный, NH ₄ ⁺ , мг N/л	0.39 ± 0.16	0.20 ± 0.04
Фосфаты, PO ₄ ²⁻ , мкг P/л	30.0*	91 ± 46
Фосфор общий, P _{общ} , мкг P/л	99 ± 34	95 ± 26
Кремний, Si, мг/л	0.50*	1.80*
Железо общее, мг/л	0.08 ± 0.01	0.02*

Примечание. Приведены средние арифметические ± ошибка среднего; * – данные единичных измерений.

Методы

Образцы бентосных альгоценозов отбирали с поверхности донных отложений (эпипелон), каменистого субстрата (эпилитон) и высших водных и прибрежно-водных растений (эпифитон) с использованием принятых методических подходов (Водоросли..., 1989; Комулайнен, 2003; Неврова и др., 2015).

Водоросли эпилитона отбирали путем очистки камней жесткой зубной щеткой. Эпифитные диатомовые водоросли счищали с поверхности погруженных макрофитов зубной щеткой, помещая растение в кювету с добавлением дистиллированной воды. Полученные суспензии диатомей помещали в пластиковую бутылку с маркировкой. Пробы

населения мягких грунтов (эпипелона) отбирали с помощью пластиковой трубки площадью захвата 14.5 см² из столба донных отложений, собранных с помощью дночерпателя Петерсена или Экмана – Берджи путем вырезания поверхностного слоя толщиной 5–7 мм. Затем содержимое помещали в маркированный контейнер. Пробы фиксировали 40 % раствором формалина. Всего было отобрано 25 количественных и качественных проб.

В лаборатории образцы диатомовых водорослей обрабатывали перекисью водорода и соляной кислотой (горячее окисление перекисью водорода), постоянные препараты готовили с использованием среды Naphrax (показатель преломления 1.74, Brunel Microscopes Ltd). Идентификация диатомовых водорослей проводилась методами световой микроскопии с применением определителей, основной список которых приведен в работе Е. Н. Невровой с соавторами (2015).

Количественную представленность видов оценивали по модифицированной глазомерной балльной шкале Стармаха (Водоросли..., 1989): 1 – единично, 3 – немного, 5 – умеренно, 7 – много, 9 – массово. Анализировали частоты встречаемости видов (% проб, в которых он обнаружен) и доминирования (% проб, в которых обилие вида составило 7 или 9 баллов). Экологическая характеристика диатомей приведена по С. С. Бариновой с соавторами (2019).

Качество и экологическое состояние окских вод оценивали по индикационным величинам средовых характеристик отдельных видов (Барина и др., 2019), а также значению сапробности (трофности) посредством расчета индексов загрязнения Т. Ватанабе (DIApo) (Watanabe et al., 1986, 1988, 1990), эвтрофикации / загрязнения А. Дель Уомо (EPI) (Dell' Uomo, 1996) и индекса сапробности Пантле и Букка в модификации В. Сладечека (Sládeček, 1973, 1986). При этом применяли списки индикаторных видов разных авторов (Sládeček, 1973, 1986 – SLA; Wegl, 1983 – WEG; Marvan et al., 2005 – MAR; Барина и др., 2019 – BAR).

Результаты

В альгоценозах бентали правобережья устьевого участка р. Оки в районе г. Нижний Новгород выявлено 133 вида и внутривидовых таксона диатомовых водорослей, относящихся к 2 классам, 6 порядкам, 17 семействам и 46 родам. Общие характеристики

флоры диатомовых бентоса р. Оки довольно схожи с таковыми крупных европейских рек: заметная роль семейств Naviculaceae и Nitzschiaceae, ведущие ранговые позиции родов *Navicula*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Achnanthydium* являются чертами сходства и определенной стабильности альгофлоры донных диатомей средних и больших эвтрофированных и заметно загрязненных европейских рек. Преобладание родов *Nitzschia*, *Navicula*, *Gomphonema* и их ведущая роль в составе альгоценозов бентоса установлены ранее для многих европейских водотоков (Волга и ее жизнь, 1978; Владимирова, 1989; Koziychuk, 2019). Преобладание пеннатных шовных диатомей, ранговое распределение ведущих семейств и родов и в целом состав альгоценозов бентали устьевого района р. Оки свойственны характеристикам диатомовых бентоса крупных речных экосистем с заметным антропогенным влиянием.

Массовые виды, отмеченные более чем в половине проб, составляли лишь одну пятую видового состава, а редкие виды, найденные единично, – 40 %. Состав доминирующих видов со встречаемостью более 50 % и заметной частотой доминирования (20–40 %) небогат (всего 6 видов). Большая часть обычных компонентов бентосных альгоценозов продемонстрировала низкую частоту доминирования, что косвенно свидетельствует о пространственно-временном разнообразии условий обитания диатомей в р. Оки с преобладанием субстратной и сезонной приуроченности (табл. 2).

Центрические диатомовые водоросли (в основном различные *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Aulacoseira*) как доминанты и субдоминанты постоянно отмечались во всех типах сообществ бентоса в результате процессов седиментации из водной толщи на дно, демонстрируя максимальную интенсивность доминирования в альгоценозах эпифитона. В сообществах эпифитона более заметная частота доминирования (29 %) наблюдалась у *Stephanodiscus neoastreae*. В эпипелоне только *Fragilaria vaucheriae* в 14 % проб выступала в качестве доминанта. Комплекс бентосных видов эпифитона сформирован *Nitzschia palea*, *Cocconies placentula*, *Ulnaria ulna*, *Gomphonema pumilum* и *G. parvulum*. В два раза реже в качестве доминантов или сопутствующих доминантам компонентов в эпифитоне развивались *Navicula tripunctata*, *Diatoma vulgaris*, *Cocconies pediculus*, *Nitzschia dissipata* и *Nitzschia sp.* С максимальными для бентос-

ных альгоценозов показателями доминирования в группировках диатомовых эпилимниона отмечены *Navicula tripunctata*, *Nitzschia dissipata*, *Nitzschia sp.*, *Diatoma vulgaris* и *Achnantheidium affine* (Grun.) Czarn. Реже в состав преобладающих видов входили *Gomphonema parvulum*, *G. pumilum*, *Navicula cryptocephala* и *Fragilaria vaucheriae* (см. табл. 2).

Таблица 2. Частоты встречаемости (1) и доминирования (2) массовых видов диатомовых водорослей

Вид	Эпипелон		Эпифитон		Эпилимнион		Все альгоценозы бентали	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Achnantheidium affine</i> (Grunow) Czarn	14	0	29	0	55	27	36	12
<i>Amphora copulata</i> (Kütz.) Schoeman et R. E. M. Archibald	57	0	71	0	73	9	68	4
<i>A. pediculus</i> (Kütz.) Grunow ex A. W. F. Schmidt	43	0	9	0	82	9	68	4
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr.	43	0	57	14	73	9	68	8
<i>C. placentula</i> Ehr.	100	0	100	29	91	9	96	12
<i>Diatoma vulgaris</i> Bory	71	0	57	14	73	36	68	20
<i>Encyonema caespitosum</i> Kütz.	29	0	12	0	55	9	36	4
<i>E. leibleinii</i> (C. Agardh) W. J. Silva, R. Jahn, T. A. V. Ludwig, et M. Menezes	14	0	12	0	45	9	28	4
<i>E. reichardtii</i> (Krammer) D. G. Mann	0	0	29	0	0	9	4	4
<i>E. ventricosum</i> (C. Agardh) Grunow	57	0	12	0	55	9	44	4
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kütz.) Peters	57	14	57	0	64	18	60	12
<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow.) Reich. et Lange-Bert	57	0	86	42	91	18	80	20
<i>G. parvulum</i> Kütz.	71	0	71	29	82	27	76	4
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	86	0	86	0	91	18	88	8
<i>N. tripunctata</i> (O. Müll.) Bory	86	0	100	14	82	54	88	28
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kütz.) Rabenh.	71	0	43	14	73	54	64	28
<i>N. linearis</i> W. Sm.	14	0	43	0	18	9	24	4
<i>N. palea</i> (Kütz.) W. Sm.	29	0	100	29	63	0	64	8
<i>Nitzschia sp.</i>	53	0	43	14	34	18	44	12
<i>Pseudostaurasira brevistriata</i> (W. Smith) E. Morales	43	0	57	0	55	9	52	4
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D. G. Mann	0	0	0	0	18	9	8	4
<i>Staurosira venter</i> (Ehr.) Cl. et Möller	14	0	0	0	55	9	28	4
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> (Grunow)	100	29	100	42	100	9	100	24
<i>S. invisitatus</i> M. H. Hohn & Hellermann	71	0	57	14	27	0	48	4
<i>S. neoastreae</i> Håk. et Hick	100	29	100	71	100	29	100	40
<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) Frenguelli	57	0	86	0	73	9	72	4
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch.) Compère	86	0	100	29	82	0	88	8

Сезонные изменения общего видового богатства бентосных диатомовых оказались незначительными, хотя удельные показатели (число видов в пробе) немного возрастали от июля (в среднем 32.6 ± 2.6) к ноябрю (37.5 ± 2.0). Летом среднее по станциям и типам субстратов обилие диатомовых водорослей достигало 77.9 ± 10.0 балла, а в ноябре оно достоверно возрастало (94.9 ± 9.3) (табл. 3). Участие планктонных центри-

ческих водорослей в организации донных альгоценозов вслед за снижением их количественных показателей в толще окских вод от лета к осени (Okharkin et al., 2014) также уменьшалось с 34 % в июле до 18 % в ноябре. Основу суммарного обилия диатомей часто создавали редкие и единичные виды (обилие 1 и 3 балла), осенью – представители с обилием 5–7 баллов (рис. 2).

Таблица 3. Средние показатели обилия диатомовых водорослей донных альгоценозов ($M \pm m$)

Месяц	Июль	Ноябрь
Ст. 1	91.6 ± 10.89	104 ± 9.18
Ст. 2	61.5 ± 17.27	97.66 ± 25.45
Ст. 3	77.2 ± 8.73	96.67 ± 12.44
Эпилитон	89.4 ± 12.14	115.83 ± 7.12
Эпипелон	44.66 ± 12.99	77.25 ± 11.30
Эпифитон	84.66 ± 5.20	99
Суммарное обилие	77.9 ± 9.97	94.85 ± 9.31

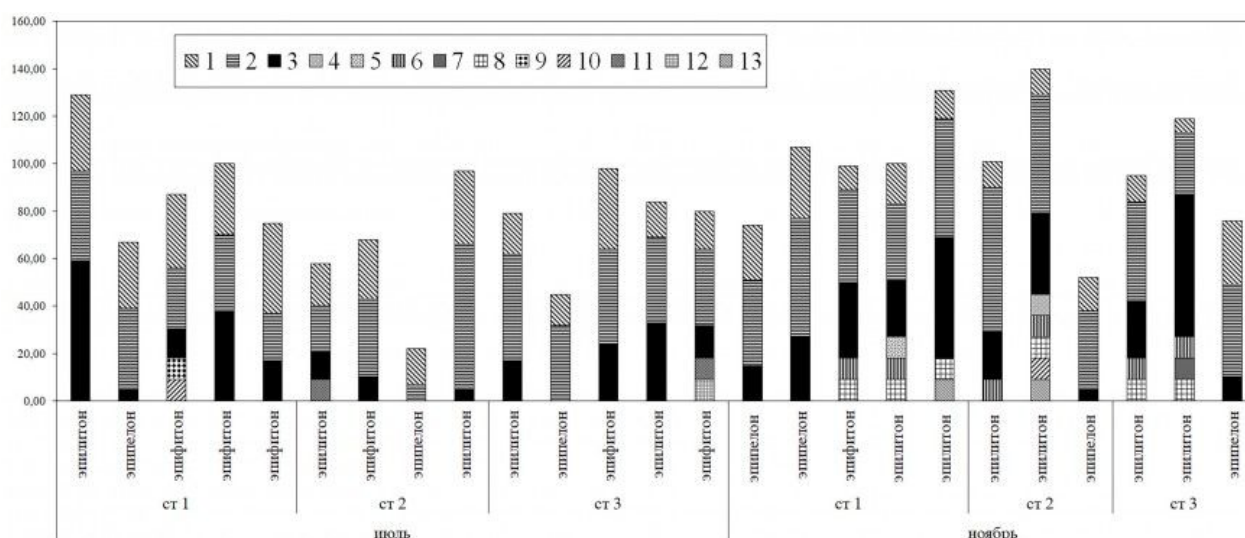


Рис. 2. Пространственно-временная динамика обилия (баллы) сообществ диатомовых водорослей различных субстратов. 1 – центрические, 2 – водоросли с обилием 1 + 3 баллов, 3 – водоросли с обилием 7 + 5 баллов, 4 – *Sellaphora seminulum*, 5 – *Pseudostaurosira brevistriata*, 6 – *Nitzschia dissipata*, 7 – *Navicula cryptocephala*, 8 – *Navicula tripunctata*, 9 – *Gomphonema parvulum*, 10 – *Gomphonema olivaceum*, 11 – *Gomphonema pumilum*, 12 – *Cocconeis pediculus*, 13 – *Achnantheidium affine*

Fig. 2. Spatial-temporal dynamics of the abundance (points) of communities of diatoms of various substrates. 1 – Centric, 2 – algae with an abundance of 1 + 3 points, 3 – the same, 7 + 5 points, 4 – *Sellaphora seminulum*, 5 – *Pseudostaurosira brevistriata*, 6 – *Nitzschia dissipata*, 7 – *Navicula cryptocephala*, 8 – *Navicula tripunctata*, 9 – *Gomphonema parvulum*, 10 – *Gomphonema olivaceum*, 11 – *Gomphonema pumilum*, 12 – *Cocconeis pediculus*, 13 – *Achnantheidium affine*

Интенсивность развития диатомовых водорослей эпилитона оказалась несколько больше, чем эпифитона и особенно эпипелона (см. табл. 3). При этом разнообразнее был и общий перечень диатомей, обитающих на каменистом субстрате, хотя вклад основных таксономических групп в формирование видового богатства на уровне классов для разных субстратов был практически одинаковым.

Экологическая характеристика водорослей-индикаторов условий существования донных альгоценозов в р. Оке приведена на рис. 3. По типу местообитания видовой состав диатомовых водорослей отразил одинаковый вклад планктонно-бентосных и бентосных форм (46 и 45 % соответственно), доля компонентов планктона в списке видов невелика.

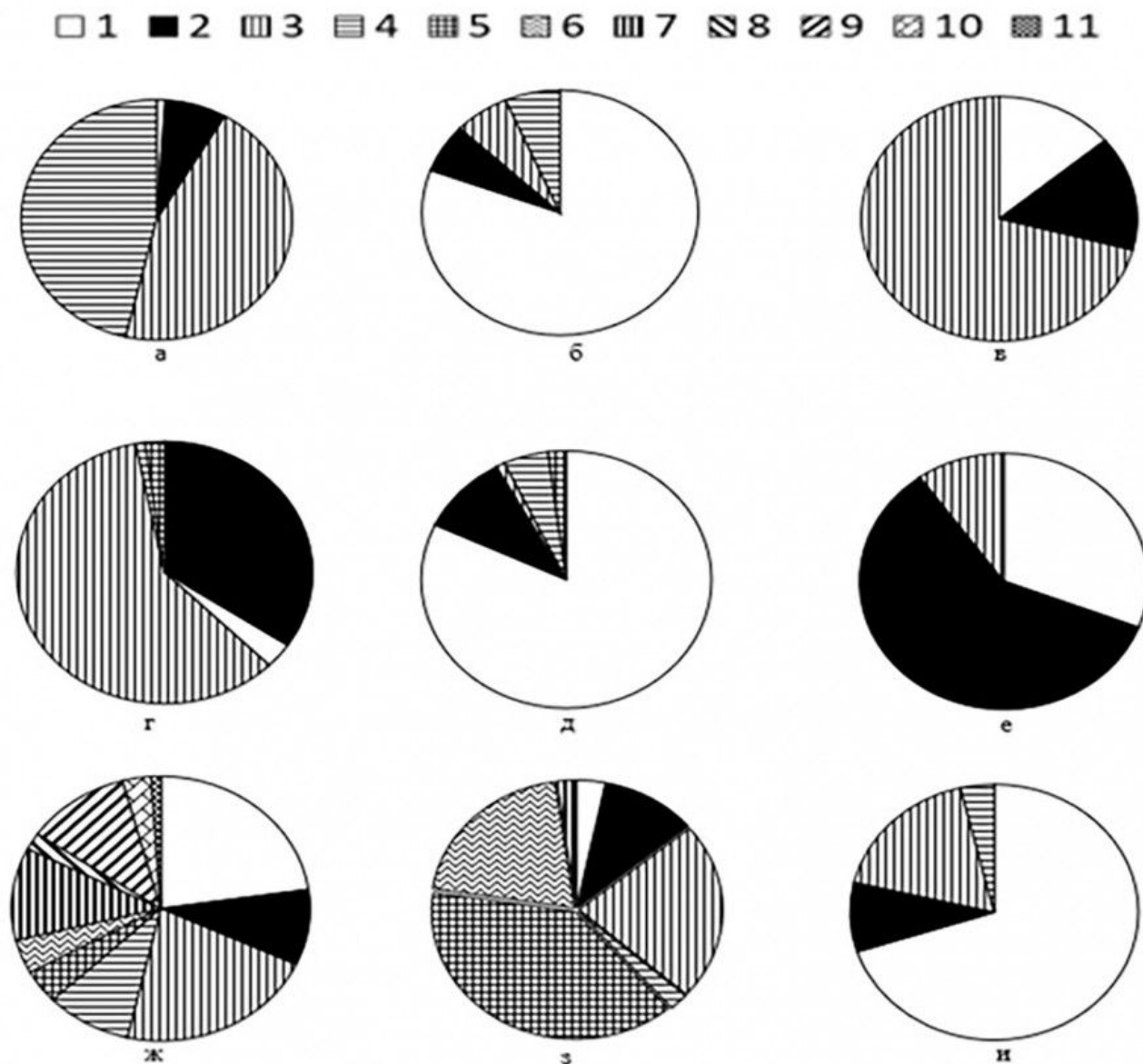


Рис. 3. Экологическая характеристика состава донных Bacillariophyta. Условные обозначения: а: 1 – бентосные; 2 – планктонно-бентосные; 3 – планктонные; 4 – эпибионты; б: 1 – виды умеренного температурного режима; 2 – теплолюбивые; 3 – эвритермные; 4 – холодолюбивые; в: 1 – виды, предпочитающие стоячие воды; 2 – предпочитающие текущие воды; 3 – индифференты; г: 1 – индифференты; 2 – алкалибионты; 3 – алкалофилы; 4 – нейтрофилы; 5 – ацидофилы; д: 1 – индифференты; 2 – галофилы; 3 – галофилы, мезогалофилы; 4 – мезогалофилы; 5 – галофобы; е: 1 – сапроксены; 2 – эврисапрофилы; 3 – сапрофилы; ж: 1 – олигосапрофилы; 2 – ксено-альфа-мезосапрофилы; 3 – бета-мезосапрофилы; 4 – альфа-олигосапрофилы; 5 – альфа-мезосапрофилы; 6 – бета-альфа-мезосапрофилы; 7 – альфа-олигосапрофилы; 8 – ксено-олигосапрофилы;

9 – олиго-бета-мезосапробионты; 10 – ксено-бета-мезосапробионты; 11 – ксеносапробионты; 3 – мезотрафенты; 2 – гипертрафенты; 3 – эутрафенты; 4 – гиперэутрафенты; 5 – мезоэутрафенты; 6 – олигомезотрафенты; 7 – олиготрафенты; и: 1 – азотно-автотрофные, выдерживающие повышенные концентрации органически связанного азота; 2 – факультативно азотно-гетеротрофные; 3 – азотноавтотрофные, обитающие при малых концентрациях органически связанного азота; 4 – облигатно-азотногетеротрофные

Fig. 3. Ecological characteristics of the composition of benthic Bacillariophyta. Legend: a: 1 – benthic; 2 – plankton – benthic; 3 – plankton; 4 – epibionts; b: 1 – species of moderate temperature conditions; 2 – thermophilic; 3 – eurythermal; 4 – cold – loving; c: 1 – species that prefer stagnant waters; 2 – preferring flowing waters; 3 – indifferent; d: 1 – indifferent; 2 – alkalibionts; 3 – alkaliphiles; 4 – neutrophils; 5 – acidophiles; e: 1 – indifferent; 2 – halophiles; 3 – halophiles, mesohalobes; 4 – mesohaloba; 5 – halophobes; f: 1 – saproxenes; 2 – evrisaprobic; 3 – saprophiles; g: 1 – oligosaprobic; 2 – xeno – alpha – mesosaprobic; 3 – beta mesosaprobic; 4 – alpha oligosaprobic; 5 – alpha mesosaprobic; 6 – beta – alpha mesosaprobic; 7 – alpha oligosaprobic; 8 – xeno – oligosaprobic; 9 – oligo – beta – mesosaprobic; 10 – xeno – beta – mesosaprobic; 11 – xenosaprobic; h: 1 – mesotrafents; 2 – hypertrafents; 3 – eutrafents; 4 – hypereutrafents; 5 – meso – eutrafents; 6 – oligo – mesotrafents; 7 – oligotrafents; and: 1 – nitrogen autotrophic, withstanding increased concentrations of organically bound nitrogen; 2 – optionally nitrogen heterotrophic; 3 – nitrogen – autotrophic, living at low concentrations of organically bound nitrogen; 4 – obligate nitrogen – heterotrophic

По приуроченности к температурному режиму преобладали обитатели умеренно теплых вод (81 % видов с известными из литературы температурными предпочтениями). Среди них – преобладающие виды из сообществ мягких грунтов (*Cocconeis placentula*, *Gomphonema parvulum*), эпифитона (*Epithemia sorex* Kütz., *Eunotia bilunaris* (Ehr.) Schaarsch.) и эпилитона (*Craticula cuspidata* (Kütz.) Mann, *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun.). Единично отмечены эвритермные (*Sellaphora pupula* (Kütz.) Mereschk., *Achnanthes minutissimum* (Kütz.) Czarn.), теплолюбивые (*Planothidium lanceolatum* (Bréb. ex Kütz.) Lange-Bert., *Staurosira venter*) и холодноводные диатомеи (*Odontidium mesodon* (Kütz.) Kütz., *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh.).

Индикция отношения к гидродинамике водных масс и кислородному режиму показала, что состав показательных видов почти на две трети сформирован обитателями вод с замедленным течением, умеренно насыщенных кислородом (*Surirella angusta* Kütz.), представителей, предпочитающих текучие воды, богатые кислородом (*Placoneis clementis* (Grun.) Cox), и обитателей стоячих вод (*Nitzschia recta* Hantzsch ex Rabenh.) значительно меньше (по 14 %).

Среди видов индикторов РН воды преобладали акалифилы (т. е. широко распространенные при РН более 7.0), которые формировали около 60 % состава показательных видов. Среди них основу обилия диатомовых группировок создавали *Halampahora veneta* (Kütz.) Levkov, *Navicula cryptocephala*. Немногим более трети состава сформировано индифферентами, предпочитающими

РН около 7.0 (например, *Meridion circulare* (Grev.) Ag.); число алкалибионтов (*Ulnaria acus* (Kütz.) Aboal), ацидофилов (*Eunotia incisa* W. Sm. ex Greg.) и нейтрофилов (*Odontidium mesodon* (Kütz.) Kütz.) много меньше.

По отношению к степени галобности среды 82 % перечня индикаторных видов – это индифференты, типичные обитатели пресных вод с заметным обилием, но в небольших количествах встречающиеся в водах с низкой соленостью. Среди них в качестве ведущих компонентов альгоценозов развивались *Fragilaria vaucheriae*, *Gomphonema italicum* Kütz. Галофилы, предпочитающие воды с большой минерализацией, составляли только десятую часть состава индикаторов солености воды, доля галофобов и мезогалобов незначительна (1–5 видов). Среди показателей повышенных значений минерализации вод отметим *Meridion constrictum* (Ralfs) Kütz., *Navicula capitatoradiata* Germ и др.

Согласно системе Т. Ватанабе (Watanabe, 1988, 1990), по отношению к степени загрязнения воды органическими веществами преобладали эврисапробы (59 % индикаторных видов, например *Navicula radiosa* Kütz., *Nitzschia clausii* Hantzsch., *Planothidium rostratum* (Østr.) Lange-Bert.) – водоросли, устойчивые к органическому загрязнению, обычно развивающиеся в слабо- и умеренно загрязненных водах. Обитателей чистых и слабо загрязненных вод – сапроксов много меньше (31 %, например *Nitzschia dissipata*, *Fragilaria vaucheriae*). Сапрофилов, преобладающих в водах с сильным органическим загрязнением, немного (10 %). Среди них отметим *Luticola goeppertiana* (Bleisch)

Mann, *Nitzschia frustulum* (Kütz.) Grun.

Среди индикаторов сапробности, по В. Сладечеку (Sladeček, 1973), по разнообразию видов преобладали обитатели чистых вод (от ксеносапробов до β -олигомезосапробов, 61 % видов списка индикаторов). Показателем средней степени загрязнения – β -мезосапробов значительно меньше (22 %). Диатомей, предпочитающих воды с заметной и значительной степенью содержания органических веществ (от β - α -мезосапробов до α -мезосапробов), немного (17 видов, 17 %, например *Craticula cuspidata*, *Halamphora veneta*). Но среди массовых видов с наибольшей представленностью и обилием показатели чистых вод и виды, развивающиеся в водах со средним, повышенным и высоким загрязнением, представлены равным числом индикаторов.

Оценка трофического состояния вод р. Оки продемонстрировала преобладание мезо-эузрафентов (*Cocconeis pediculus*) и эузрафентов (*Diatoma tenuis* Ag.) (в сумме более 60 % количества индикаторов) над олиго- (*Encyonema caespitosum*) и олиго-мезоэузрафентами (*Cymbella cymbiformis* Ag.). Несмотря на преобладание в списке видов разнообразия обитателей чистых вод (от

ксеносапробов до β -мезо-олигосапробов) распределение диатомовых водорослей по категориям типов питания показало, что подавляющее их большинство — это организмы, требующие для своего развития повышенного (*Nitzschia acicularis* (Kütz.) W. Sm.) и высокого содержания органических форм азота (*Gomphonema parvulum*), в том числе и миксотрофы, и только 17 % видов обитателей чистых вод (*Neidium dubium* (Ehr.) Cl.) предпочитало малые его концентрации.

Из 133 видов диатомовых, зарегистрированных в ходе исследования, для расчета индексов загрязнения использованы только 97. Результаты оценки качества воды устья р. Оки различными биотическими индексами представлены в табл. 4. Пространственно-временные и субстратные изменения показателей, оцененные индексами Пантле и Букка, Ватанабе и Дель Уомо, были невелики, а полученные оценки качества воды несколько различались. В целом степень сапробности вод рипали устьевого участка р. Оки оказалась близкой к средним значениям β -мезосапробной зоны III класса качества с незначительно выраженными тенденциями пространственно-временных изменений.

Таблица 4. Средние показатели ($M \pm m$) различных индексов оценки качества воды по диатомовым водорослям

Индексы	SLA	BAR	MAR	WEG	WAT	EPI
Ст. 1	1.87 \pm 0.04	1.87 \pm 0.04	1.80 \pm 0.03	2.09 \pm 0.03	53.2 \pm 3.05	2.25 \pm 0.05
Ст. 2	1.94 \pm 0.04	1.94 \pm 0.04	1.80 \pm 0.05	2.14 \pm 0.07	50.42 \pm 2.30	2.29 \pm 0.05
Ст. 3	1.89 \pm 0.02	1.89 \pm 0.02	1.81 \pm 0.01	2.08 \pm 0.02	57.5 \pm 2.15	2.25 \pm 0.03
Эпилитон	1.86 \pm 0.02	1.87 \pm 0.02	1.77 \pm 0.02	2.07 \pm 0.02	57.18 \pm 2.21	2.24 \pm 0.03
Эпипелон	1.92 \pm 0.04	1.92 \pm 0.04	1.82 \pm 0.05	2.11 \pm 0.05	52.28 \pm 2.19	2.31 \pm 0.07
Эпифитон	1.94 \pm 0.04	1.94 \pm 0.04	1.84 \pm 0.03	2.14 \pm 0.03	50.00 \pm 3.55	2.26 \pm 0.04
Июль	1.95 \pm 0.02	1.95 \pm 0.02	1.84 \pm 0.03	2.14 \pm 0.03	48.57 \pm 1.45	2.24 \pm 0.01
Ноябрь	1.84 \pm 0.02	1.84 \pm 0.02	1.76 \pm 0.02	2.05 \pm 0.02	60.45 \pm 1.52	2.29 \pm 0.04

Индикация качества вод с помощью индекса эвтрофикации / загрязнения Дель Уомо (EPI), проявляющего значительную корреляцию с химическими и физическими свойствами воды (БПК₅, биогенные элементы, электропроводность, хлориды и т. д.) (Зуева и др., 2019), показала, что он изменялся от 2.05 (умеренное загрязнение) до 2.61 (очень сильное загрязнение) (Dell'Uomo, 2003). Средние значения этого индекса (2.24–2.31) характеризуют окские воды как сильно загрязненные и эвтрофированные.

Обсуждение

В период наблюдения характеристики компонентного состава и уровень загрязнения окских вод в сравнении с данными 2011 г. (Охупкин и др., 2015) изменились незначительно (см. табл. 1). По-прежнему низовья реки можно рассматривать как эвтрофно-гипертрофный водный объект с высоким уровнем антропогенного эвтрофирования и загрязнения (Джамалов и др., 2017) при росте со второй половины XX века к началу XXI минерализации и содержания сульфатов и щелочных металлов.

Динамика химических показателей качества окских вод достаточно четко отразила сезонный ход процессов самоочищения вод в направлении от лета к осени (см. табл. 1). Так, к октябрю – ноябрю в воде отмечен рост (в 1.2 раза) содержания кислорода, снижение количества взвешенных веществ (в 1.9 раза), в том числе и за счет уменьшения интенсивности вегетации фитопланктона (Okhapkin et al., 2014). Кроме того, установлена тенденция к уменьшению содержания в воде лабильного органического вещества (БПК₅) и минеральных форм азота (оба показателя в 1.4 раза). При недостоверно выраженных изменениях химического потребления кислорода (ХПК) и концентрации общего фосфора процессы минерализации фосфорсодержащих органических соединений к осени происходили почти полностью. Так, относительное содержание минеральных форм фосфора в общем его запасе с 0.30 летом осенью увеличилось до 0.96. Эти факты отразили тенденцию оптимизации показателей качества воды с возрастанием гидродинамики водных масс и улучшением кислородного режима в реке.

Несмотря на низкий класс качества вод, локальность изученного участка бентали и непродолжительность периода исследования, видовой состав комплексов диатомовых водорослей дна оказался весьма богатым (133 таксона рангом ниже рода). Видовое богатство Bacillariophyta оказалось сопоставимым с перечнем донных и эпифитных представителей диатомей (137 таксонов), обнаруженных нами в составе фитопланктона р. Оки и определенных по результатам многолетних исследований планктонных альгоценозов с 1960-х гг. до настоящего времени (Охупкин, Хедаири, 2019). Разнообразие видов диатомовых водорослей бентали р. Оки, оцененное нами по результатам рекогносцировочного обследования на основании относительно небольшого числа проб, оказалось сопоставимым с таковым донных диатомей нижнего течения р. Днепр (Владимирова, 1989), но оказалось в 1.7 раза меньше, чем в устьевом районе р. Дунай (Kozıychuk, 2019), и в 1.3 раза ниже, чем в нижнем течении р. Енисей (Левадная, 1986) при значительно большем объеме изученного материала.

Самые многочисленные виды диатомовых водорослей исследованного района р. Оки (*Cocconeis placentula*, *C. pediculus*, *Gomphonema olivaceum*, *G. parvulum*, *Navicula tripunctata*, *Nitzschia dissipata* и др.)

являются широко распространенными, эврибионтными по многим экологическим факторам видами – обычными компонентами диатомовой флоры многих рек Европы с заметным антропогенным влиянием (β - и α -мезосапробного типа) (Van Dam et al., 1994).

Таким образом, высокие разнообразие и индикационные свойства диатомовых донных сообществ, а также заметная и часто определяющая их ценотическая роль дают основания для получения надежных и адекватных оценок экологического состояния и качества воды исследованной водной экосистемы.

Оценка экологической целостности проточных вод часто требует разработки комплексных методов, учитывающих сложные взаимосвязи внутри сообществ и между ними на фоне непрерывной изменчивости факторов окружающей среды. Связи между диатомовыми водорослями и экологическими переменными являются достаточно надежными и поддающимися количественной оценке, что делает их подходящими количественными индикаторами экологических условий в лотических экосистемах (Chaïb, Tison-Rosebery, 2012). Диатомовые водоросли используются в качестве альтернативного дополнительного средства оценки качества воды в связи с наличием у многих из них индивидуальных предпочтений к загрязненности или чистоте воды, чувствительности и четкой реакции на физико-химические и биологические изменения (Adewole et al., 2019). При этом считают, что использование диатомовых водорослей для оценки качества воды дешевле, чем обычные химические анализы, и прямо показывает влияние загрязнения на водную биоту (Adewole et al., 2019).

Состав диатомей бентосных альгоценозов устья р. Оки поровну представлен планктонно-бентосными и бентосными видами, обитателями умеренно теплых нейтрально-олигощелочных вод с замедленным течением и умеренно насыщенных кислородом. Их население сформировано главным образом типичными представителями пресных вод с заметным обилием, индифферентами, видами, устойчивыми к органическому загрязнению, показателями как незначительной, так и высокой степени сапробности. Насыщенность вод р. Оки биогенными элементами (фосфор, азот) и органическими веществами отразилась на преимущественном развитии мезо-эутрафентов и эутрафентов –

видов, требующих для своей жизнедеятельности повышенного и высокого содержания органических форм азота, в том числе и миксотрофов.

Преобладание в списке видов диатомей представителей, обитающих в чистых водах (60 % от числа индикаторов органического загрязнения), и небольшая доля обитателей высокосапробных вод могут быть связаны с постепенным и незначительным улучшением экологического состояния реки в сравнении с данными 1970–1990-х гг., а также, возможно, с заниженными величинами индивидуальных характеристик многих видов, приведенных в списке С. С. Бариновой с соавторами (2019). Это еще раз подтверждает необходимость работ по региональной адаптации индикаторной значимости отдельных видов. Возможно, такой результат является следствием химического состава грунтов, органическое вещество которых может состоять в основном не из лабильных компонентов (сапробного типа), а из трудно окисляемых, на которые сапробные организмы не реагируют. В связи с этим анализ степени загрязнения вод только на основе списка видов без учета их ценотической значимости может привести к недостоверным оценкам.

Расчеты индексов сапробности Пантле и Букка с использованием списков индикаторных видов разных авторов дали сходные результаты. Средние их значения колебались от 1.76 до 1.95, но определенные по списку R. Wegl (1983) оказались относительно более высокими (2.05 до 2.14) и немного превышающими средние значения для β-мезосапробной зоны. Оценки по индексам Т. Ватанабе аналогичны таковым по индексу сапробности Пантле и Букка. Диатомовый индекс EPI А. Дель Уомо (Dell'Uomo, 2003), на наш взгляд, реальнее отразил уровень качества окских вод (от умеренно до очень сильно загрязненных), что более соответствует оценкам по их химическому составу.

Степень органического загрязнения водной толщи по сезонам колебалась в пределах одного класса качества и имела тенденцию к снижению от июля к ноябрю (см. табл. 4). Эту тенденцию к незначительному улучшению качества воды осенью более четко отразил индекс Ватанабе: средние показатели в ноябре оказались достоверно выше (но сапробность ниже), чем в июле. При этом в ноябре в организации альгоценозов бентали заметно снизилось ценотическое значение обитателей стоячих вод (с 19 до 14

%), что косвенно свидетельствует об усилении процессов гидродинамики. Кроме того, аналогичная тенденция установлена и для факультативных и облигатных гетеротрофов по органическим формам азота, относительное среднее обилие которых с 31 % в июле снизилось в ноябре до 17 %. Таким образом, получено удовлетворительное соответствие оценки временной динамики процессов самоочищения в реке по биоценотическим и химическим показателям.

Сезонные изменения в группировках диатомовых водорослей были обнаружены также и в других реках, например р. Сегре (Франция, Испания) (Goma et al., 2005), реках Каталонии (Leira, Sabater, 2005), р. Куарто (Кордова, Аргентина) (Martínez de Fabricius et al., 2003), реках южной Финляндии (Soinine, Eloranta, 2004) и Восточной Фенноскандии (Комулайнен, 2005). Изменения в сообществах диатомовых водорослей в течение года отражают колебания температуры, интенсивности освещения, продолжительности дня, динамики жизненных циклов травоядных, стока (Luis Alberto, 2015) и определяются как природными, так и антропогенными факторами (орошение, забор воды для промышленных целей и др.). Динамика расхода воды может быть основным фактором, контролирующим сезонные изменения состава и структуры фитоперифитона, в том числе и таксоценоза диатомовых водорослей, что отмечалось рядом авторов (Комулайнен, 2005; Boix et al., 2010; Martínez de Fabricius et al., 2003; Tang, Dudgeon, 2013).

Пространственные изменения качества воды были выражены значительно слабее временных, что неудивительно при близком расположении станций отбора проб. Тем не менее, несмотря на это и недостоверность различий индексов в пространственном аспекте, большинство их значений (кроме рассчитанных по спискам Marvan et al., 2005) оказалось выше на ст. 2, особенно индекс Ватанабе. Ст. 2, расположенная ниже нового Окского моста по течению реки, установлена в месте, где река незначительно вдаётся в береговую полосу правобережья с визуально менее выраженной (в сравнении с другими станциями) гидродинамикой водных масс и ее возможным воздействием на интенсивность процессов самоочищения.

Оценки степени органического загрязнения, полученные с использованием сообществ диатомовых разных субстратов, отобранных на одном участке, в целом были весьма схожими, поскольку в большинстве

случаев они были сгруппированы близко друг к другу, что отмечалось также и другими исследователями (Bere, Tundisi, 2011). Тем не менее биоценотические индексы, рассчитанные по сообществам эпилимнтона, оказались более низкими в сравнении с сообществами других субстратов. Различия структурных и индикаторных характеристик альгоценозов, развивающихся на разных субстратах, отмечались рядом авторов (Комулайнен, 2005; Porter et al., 1993; Lowe, Rap, 1996; Kelly et al., 1998), которые говорили об отсутствии единого мнения относительно сравнения оценки качества воды на основе эпифитных и эпилитных сообществ. Предполагалось, что для структуры диатомовых комплексов небольшие различия гидрологических и гидрохимических условий между участками являются более значимыми, чем роль субстратов (Soinine, Eloranta, 2004). Тем не менее в р. Зауэр (Люксембург) и в некоторых реках Финляндии были получены разные результаты в значениях биоценологических индексов по диатомовым водорослям, меняющимся в зависимости от типа субстрата (Torrizi et al., 2006; Bere, Tundisi, 2011). Это, возможно, происходит из-за влияния нескольких абиотических факторов, таких как свет, температура (Tesolin, Tell, 1996) или концентрация нитратов (Coleman, Burkholder, 1995), которые приводят к изменениям в конкретном составе эпилимнтона. Также было показано, что в сравнении с эпилимнотоном, видовое разнообразие эпифитона было относительно невелико (Комулайнен, 2005; Cazaubon, 1989), а виды, его составляющие, обладают экологическими характеристиками, которые могут изменять показатели биологического качества окружающей среды.

Ранее на основе оценок сапробности по фитопланктону (Охупкин, 2011) было показано, что в устье р. Оки отмечался постепенный рост средневегетационных индексов Пантле и Букка с 1.98 ± 0.07 (по численности индикаторных видов) и 2.16 ± 0.06 (по биомассе) в 1989–1990 гг. до 2.20 ± 0.03 и 2.31

± 0.05 соответственно в 2011 г. Эти значения получены на основе большого массива материалов, но при подсчете индексов применялась не балльная система определения обилия, а конкретные показатели численности или биомассы видов в пробе. Оценки, полученные по результатам изучения бентосных диатомей, могут быть несколько заниженными в связи с локальностью участка исследований, небольшим периодом исследований, а также недоучетом индикаторных свойств водорослей других отделов.

Заключение

- Высокие видовое богатство и индикаторные свойства диатомовых донных сообществ, а также заметная и часто определяющая их ценотическая роль дают основания для получения, как правило, надежных и адекватных оценок экологического состояния и качества воды исследованной водной экосистемы.

- Применение различных подходов к оценке качества воды и экологического состояния окских вод отразило пространственно-временные аспекты процессов самоочищения в реке и показало довольно сходные результаты.

- Сообщества эпилимнтона, как правило, демонстрировали несколько лучшие оценки качества среды обитания, чем таковые эпифитона и эпипелона.

- Индексы сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека отразили средний или немного превышающий средний для β-мезосапробной зоны уровень загрязнения. Индекс эвтрофирования / загрязнения Дель Уомо изменялся в более широких пределах (от умеренного до очень сильного загрязнения), а его средние значения характеризуют окские воды как сильно загрязненные и эвтрофированные.

- При оценке степени сапробности окских вод по составу и структуре альгоценозов бентали, на наш взгляд, оптимальнее применение списков индикаторных организмов R. Wegl (1983) с последующей их региональной адаптацией и диатомового индекса EPI.

Библиография

- Барина С. С., Белоус Е. П., Царенко П. М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа; Киев: Изд-во Университета Хайфы, 2019. 367 с.
- Владимирова К. С. Фитомикробентос Днепра, его водохранилищ и Днепро-Бугского лимана. Киев: Наук. думка, 1989. 232 с.
- Водоросли: Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
- Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 348 с.
- Джамалов Р. Г., Никаноров А. М., Решетняк О. С., Сафронова Т. И. Воды бассейна Оки: химический

- состав и источники загрязнения // Вода и экология. 2017. Т. 21. № 3. С. 114–132.
- Зуева Н. В., Алексеев Д. К., Куличенко А. Ю., Примаков Е. А., Зуев Ю. А., Воякина Е. Ю., Степанова А. Б. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: Учебное пособие для высших учебных заведений. СПб.: РГГМУ, 2019. 140 с.
- Комулайнен С. Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 43 с.
- Комулайнен С. Ф. Структура и функционирование фитоперифитона в малых реках Восточной Финляндии: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб.: ЗИН РАН, 2005. 52 с.
- Левадная Г. Д. Микрофитобентос реки Енисей. Новосибирск: Наука, 1986. 286 с.
- Неврова Е. Л., Снигирева А. А., Петров А. Н., Ковалева Г. В. Руководство по изучению морского микрофитобентоса и его применению для контроля качества среды. Симферополь: Н. Оріанда, 2015. 175 с.
- Оксиюк О. П., Давыдов О. А. Санитарно-гидробиологическая характеристика водных экосистем по микрофитобентосу // Гидробиологический журнал. 2011. Т. 47. № 4. С. 66–79.
- Оксиюк О. П., Давыдов О. А. Санитарная гидробиология в современный период. Основные положения, методология, задачи // Гидробиологический журнал. 2012. Т. 48. № 6. С. 50–65.
- Охупкин А. Г. Фитопланктон Чебоксарского водохранилища. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. 274 с.
- Охупкин А. Г. Опыт применения системы сапробности к оценке качества воды реки Волги // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем II: Сборник материалов международной конф. СПб.: Любавич, 2011. С. 91–96.
- Охупкин А. Г., Андриянова Н. В., Максимова В. А., Шарагина Е. М., Воденеева Е. Л. Динамика гидрохимического состава вод нижнего течения р. Оки // Вода: химия и экология. 2015. № 5. С. 15–21.
- Охупкин А. Г., Хедаири Т. Диатомовые водоросли как компонент донных альгоценозов устьевого участка реки Оки // Вопросы современной альгологии. 2019. № 2 (20). С. 60–63.
- Adewole M. G., Benjamin O. Di., Adewale M. T., Isaac T. O. Application of Diatom-Based Indices in River Quality Assessment: A Case Study of Lower Ogun River (Abeokuta, Southwestern Nigeria) Using Epilithic Diatoms // Limnology – Some New Aspects of Inland Water Ecology. Didem Gökçe, IntechOpen, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.86347.
- Bere T., Tundisi J. G. Biological monitoring of lotic ecosystems: the role of diatoms // Brazilian Journal of Biology. 2010. Vol. 70. P. 493–502.
- Bere T., Tundisi J. G. The Effects of Substrate Type on Diatom-Based Multivariate Water Quality Assessment in a Tropical River (Monjolinho), São Carlos, SP, Brazil // Water Air Soil Pollut. 2011. Vol. 216. P. 391–409.
- Boix D., Garcia-Berthou E., Gascon S., Benejam L., Tornes E., Sala J., Benito J., Munne A., Sola C., Sabater S. Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers // Journal of Hydrology. 2010. Vol. 383. P. 135–146.
- Cazaubon A. La florule épiphyte principalement diatomique de diverses plantes-hôtes à la source d'une rivière méditerranéenne (l'Argens, sud-est de la France) // Cryptogamie Algol. 1989. Vol. 10. P. 195–207.
- Chaïb N., Tison-Rosebery J. Water quality assessment and application of the biological diatom index in the Kebir-East wadi, Algeria // African Journal of Aquatic Science. 2012. Vol. 37. № 1. P. 59–69.
- Coleman V. L., Burkholder J. M. Response of microalgal epiphyte communities to nitrate enrichment in an eelgrass (*Zostera marina*) meadow // J. Phycol. 1995. Vol. 31. P. 36–43.
- Dell'Uomo A. Algae of running waters in Italy and their importance for monitoring rivers // Boccone. 1996. Vol. 16. № 1. P. 367–377.
- European Community Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European communities L327, 2000.
- Goma J., Rimet F., Cambra J., Hoffmann L., Ector L. Diatom communities and water quality assessment in Mountain Rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees) // Hydrobiologia. 2005. Vol. 551. Issue 1. P. 209–225.
- Hofmann G., Werum M. und H. Lange-Bertalot. Diatomeen im süßwasser-benthos von mitteleuropa. Kanigstein: Scientific Books, 2013. 908 S.
- Kelly M. G., Cazaubon A., Coring E., Dell'uomo A., Ector L., Goldsmith B., et al. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe // Journal of Applied Phycology. 1998. Vol. 10. P. 215–224.
- Kelly M. G. Identification of Common Benthic Diatoms in Rivers // Field Studies. 2000. Vol. 9. P. 583–700.
- Koziychuk E. Sh. Phytomicrobenthos Diversity in Water courses of the Killya Delta of the Danube River // Hydrobiol. J. 2019. Vol. 55. № 5. P. 44.
- Leira M., Sabater S. Diatom assemblages distribution in catalan rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors // Water Research. 2005. Vol. 39. P. 73–82.

- Lowe R. L., Pan Y. Benthic algal communities as biological indicators // R. J. Stevenson, M. L. Bothwell, & R. L. Lowe, Eds. *Algal ecology, Freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic, 1996. P. 705–739.
- Luis Alberto Quevedo Báez. Effects of global change on benthic communities of the lower Ebro River: implications for the assessment of the ecological status: PhD Thesis. ... URV. Tarragona, Spain, 2015. 164 p.
- Martinez de Fabricius A. L., Maidana N., Gomez N., Sabater S. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina) // *Biodiversity and Conservation*. 2003. Vol. 12. P. 2443–2454.
- Marvan P., Maršálek B., Heteša J., Sukačova K., Maršálková E., Geriš R., Kozáková M. Comments on the revised tables of algal (and other botanical) water quality indicators listed in CSN 75 7716-discussion material for assessment of trophic status of water bodies. Association Flos Aquae www.cyanobacteria.net on 6th May. 2005.
- Okhapkin A. G., Genkal S. I., Sharagina E. M., Vodeneeva E. L. Structure and dynamics of phytoplankton in the Oka river mouth at the beginning of the 21th century // *Inland Water Biol.* 2014. Vol. 7. № 4. P. 357–365.
- Porter S. D., Cuffney T. F., Gurtz M. E., Meador M. R. Methods for collecting algal samples as part of the National Water-Quality Assessment Program. US Geological Survey Open-File Report 93-409. US Geological Survey, Raleigh, North Carolina, 1993. 39 p.
- Prygiel J., Whitton B. A., Bukowska J. Use of algae for monitoring rivers III. Douai, France: Agence de l'Eau Artois-Picardie, 1999. P. 224–238.
- Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *The Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 760 p.
- Sládeček V. System of Water Analysis from the Biologica Point of View. *Archiv fur Hydrobiologie-Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, 1973. 222 p.
- Sládeček V. Diatoms as indicators of organic pollution // *Acta Hydrochim.* 1986. Vol. 14. № 5. P. 555–566.
- Soinine J., Eloranta P. Seasonal persistence and stability of diatom communities in rivers: Are there habitat specific differences? // *European Journal of Psychology*. 2004. Vol. 39. P. 153–160.
- Tang T. S., Niu D. Dudgeon. Responses of epibenthic algal assemblages to water abstraction in Hong Kong streams // *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 703. P. 225–237.
- Tesolin G., Tell G. The epiphytic algae on floating macrophytes of a Paraná river floodplain lake // *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 333. P. 111–120.
- Torresi M., Rimet F., Cauchieb H. M., Hoffmann L., Ector L. Bioindication par les diatomees epilithiques et epiphites dans la rivier Sure (Luxembourg) // *Royal Botanical Society of Belgium*. 2006. Vol. 139. № 1. P. 39–48.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. Netherlands // *Journal of Aquatic Ecology*. 1994. Vol. 28. № 1. P. 177–133.
- Watanabe T., Asai K., Houki A. Numerical water quality monitoring of organic pollution using diatom assemblages // *Sci. Total. Environ.* 1986. Vol. 55. P. 209–218.
- Watanabe T., Asai K., Houki A. Biological information closely related to the numerical index DAipo (Diatom Assemblage Index to Organic Water Pollution) // *Jpn. J. Diatomol.* 1988. Vol. 4. P. 49–58.
- Watanabe T., Asai K., Houki A. and Michiaki S. Numerical simulation of organic pollution based on the attached diatom assemblage in Lake Biwa // *Diatom*. 1990. Vol. 5. P. 9–20.
- Wegl R. *Index fur die Limnosaprobitat. Wasser und Abwasser*. German: Print book, 1983. 175 p.
- Whitton B. A., Rott E. Use of algae for monitoring rivers II. Innsbruck: Institut für Botanik, Universität Innsbruck, 1996. 196 p.

DIATOMS IN ALGOCENOSES OF BENTAL AS INDICATORS OF WATER QUALITY IN THE MOUTH OF THE OKA RIVER (RUSSIA)

KHEDAIRIA
Tabet Mohamidovich

Lobachevsky Nizhny Novgorod State University,
khedairiabet1989@gmail.com

OKHAPKIN
Alexander Gennadivich

Dr. Sc., Lobachevsky Nizhny Novgorod State University,
okhapkin@bio.unn.ru

Keywords:
ecological
characteristics
the Oka River
diatom
saprobitity indices

Summary: Based on the characteristics of the composition and structure of the estuaria of the Oka river, the second tributary of the Volga river located in the Nizhny Novgorod region. It is shown that the high species saturation of bottom algocenoses with diatoms and their abundance allow, in general, to obtain reliable bioindication characteristics. Satisfactory correspondence of the ecological indicators of diatom flora to the chemistry of the Oka waters was demonstrated. We carried out a comparative assessment of the values of the saprobitary indices calculated using the lists of indicator organisms by different authors, as well as the indices of eutrophication pollution (EPI) and pollution by T. Watanabe with the advantage of using the R. Wegl list (1983). The use of different approaches for assessing water quality reliably reflected the spatial and temporal aspects of self-purification processes in the river and demonstrated similar results. During the period of maximum rates of self-purification, the minimum degree of pollution by organic substances of the waters of the Oka river corresponded to the level of mean values of the β -mesosaprobitic zone. At the same time, bioindication by communities of Epilithon gave slightly better results in comparison with communities of Epiphyton and Epipelon.

Received on: 24 February 2021

Published on: 27 July 2021

References

- Adewole M. G., Benjamin O. Di., Adewale M. T., Isaac T. O. Application of Diatom-Based Indices in River Quality Assessment: A Case Study of Lower Ogun River (Abeokuta, Southwestern Nigeria) Using Epilithic Diatoms, *Limnology – Some New Aspects of Inland Water Ecology*. Didem Gökçe, IntechOpen, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.86347.
- Barinova S. S. Belous E. P. Carenko P. M. Algoindication of water objects of Ukrain: methods and prospects. Hayfa; Kiev: Izd-vo Universiteta Hayfy, 2019. 367 p.
- Bere T., Tundisi J. G. Biological monitoring of lotic ecosystems: the role of diatoms, *Brazilian Journal of Biology*. 2010. Vol. 70. P. 493–502.
- Bere T., Tundisi J. G. The Effects of Substrate Type on Diatom-Based Multivariate Water Quality Assessment in a Tropical River (Monjolinho), São Carlos, SP, Brazil, *Water Air Soil Pollut.* 2011. Vol. 216. P. 391–409.
- Boix D., Garcia-Berthou E., Gascon S., Benejam L., Tornes E., Sala J., Benito J., Munne A., Sola C., Sabater S. Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers, *Journal of Hydrology*. 2010. Vol. 383. P. 135–146.
- Cazaubon A. La florule épiphyte principalement diatomique de diverses plantes-hôtes à la source d'une rivière méditerranéenne (l'Argens, sud-est de la France), *Cryptogamie Algol.* 1989. Vol. 10. P. 195–207.
- Chaïb N., Tison-Rosebery J. Water quality assessment and application of the biological diatom index in the Kebir-East wadi, Algeria, *African Journal of Aquatic Science*. 2012. Vol. 37. No. 1. P. 59–69.
- Coleman V. L., Burkholder J. M. Response of microalgal epiphyte communities to nitrate enrichment in an eelgrass (*Zostera marina*) meadow, *J. Phycol.* 1995. Vol. 31. P. 36–43.
- Dell'Uomo A. Algae of running waters in Italy and their importance for monitoring rivers, *Boccone*. 1996. Vol. 16. No. 1. P. 367–377.
- Dzhamalov R. G. Nikanorov A. M. Reshetnyak O. S. Safronova T. I. The waters of the Oka River: chemical

- composition and sources of pollution, *Voda i ekologiya*. 2017. T. 21. No. 3. P. 114–132.
- European Community Directive 2000/60/EC of the European parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European communities L327, 2000.
- Goma J., Rimet F., Cambra J., Hoffmann L., Ector L. Diatom communities and water quality assessment in Mountain Rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees), *Hydrobiologia*. 2005. Vol. 551. Issue 1. P. 209–225.
- Hofmann G., Werum M. und H. Lange-Bertalot. *Diatomeen im süßwasser-benthos von mitteleuropa*. Kanigstein: Scientific Books, 2013. 908 S.
- Kelly M. G. Identification of Common Benthic Diatoms in Rivers, *Field Studies*. 2000. Vol. 9. P. 583–700.
- Kelly M. G., Czaubon A., Coring E., Dell' uomo A., Ector L., Goldsmith B., et al. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe, *Journal of Applied Phycology*. 1998. Vol. 10. P. 215–224.
- Komulainen S. F. Methodical recommendations for the study of phytoplankton in small rivers. Petrozavodsk: KNC RAN, 2003. 43 p.
- Komulainen S. F. The structure and functioning of phytoplankton in small rivers of Eastern Fennoscandia: *Avtoref. dip. ... d-ra biol. nauk. SPb.: ZIN RAN*, 2005. 52 p.
- Kozichuk E. Sh. Phytomicrobenthos Diversity in Water courses of the Killya Delta of the Danube River, *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55. No. 5. P. 44.
- Leira M., Sabater S. Diatom assemblages distribution in catalan rivers, NE Spain, in relation to chemical and physiographical factors, *Water Research*. 2005. Vol. 39. P. 73–82.
- Levadnaya G. D. *Microphytobenthos of the Yenisei River*. Novosibirsk: Nauka, 1986. 286 p.
- Lowe R. L., Pan Y. Benthic algal communities as biological indicators, R. J. Stevenson, M. L. Bothwell, & R. L. Lowe, Eds. *Algal ecology, Freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic, 1996. P. 705–739.
- Luis Alberto Quevedo Báez. Effects of global change on benthic communities of the lower Ebro River: implications for the assessment of the ecological status: PhD Thesis. ... URV. Tarragona, Spain, 2015. 164 p.
- Martinez de Fabricius A. L., Maidana N., Gomez N., Sabater S. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina), *Biodiversity and Conservation*. 2003. Vol. 12. P. 2443–2454.
- Marvan P., Maršálek B., Heteša J., Sukačova K., Maršálková E., Geriš R., Kozáková M. Comments on the revised tables of algal (and other botanical) water quality indicators listed in CSN 75 7716-discussion material for assessment of trophic status of water bodies. Association Flos Aquae www.cyanobacteria.net on 6th May. 2005.
- Nevrova E. L., Snigireva A. A., Petrov A. N., Kovaleva G. V. Guidance on the study of marine microphytobenthos and its application for environmental quality control. Simferopol': N. Orianda, 2015. 175 p.
- Okhapkin A. G., Andriyanova N. V., Maksimova V. A., Sharagina E. M., Vodeneeva E. L. Dynamics of the hydrochemical composition of waters in the lower reaches of the Oka river, *Voda: himiya i ekologiya*. 2015. No. 5. P. 15–21.
- Okhapkin A. G., Khedairia T. Diatoms as a component of benthic algocenoses in the mouth of the Oka River, *Voprosy sovremennoy al'gologii*. 2019. No. 2 (20). P. 60–63.
- Okhapkin A. G. Experience in applying the system of saprobity to assessing water quality in the Volga River, *Bioindikaciya v monitoringe presnovodnyh ekosistem II: Sbornik materialov mezhdunarodnoy konf. SPb.: Lyubavich*, 2011. P. 91–96.
- Okhapkin A. G. Phytoplankton of the Cheboksary Reservoir. Tol'yatti: IEVB RAN, 1994. 274 p.
- Okhapkin A. G., Genkal S. I., Sharagina E. M., Vodeneeva E. L. Structure and dynamics of phytoplankton in the Oka river mouth at the beginning of the 21st century, *Inland Water Biol.* 2014. Vol. 7. No. 4. P. 357–365.
- Oksiyuk O. P., Davydov O. A. Sanitary and hydrobiological characteristics of aquatic ecosystems by microphytobenthos, *Gidrobiologicheskii zhurnal*. 2011. T. 47. No. 4. P. 66–79.
- Oksiyuk O. P., Davydov O. A. Sanitary hydrobiology in the modern period. Basic provisions, methodology, tasks, *Gidrobiologicheskii zhurnal*. 2012. T. 48. No. 6. P. 50–65.
- Porter S. D., Cuffney T. F., Gurtz M. E., Meador M. R. Methods for collecting algal samples as part of the National Water-Quality Assessment Program. US Geological Survey Open-File Report 93-409. US Geological Survey, Raleigh, North Carolina, 1993. 39 p.
- Prygiel J., Whitton B. A., Bukowska J. Use of algae for monitoring rivers III. Douai, France: Agence de l'Eau Artois-Picardie, 1999. P. 224–238.
- Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *The Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 760 p.
- Seaweed: Guide, P. P. Vasser, N. V. Kondrat'eva, N. P. Masyuk i dr. Kiev: Nauk. dumka, 1989. 608 c.
- Sládeček V. Diatoms as indicators of organic pollution, *Acta Hydrochim.* 1986. Vol. 14. No. 5. P. 555–566.

- Sládeček V. System of Water Analysis from the Biologica Point of View. *Archiv fur Hydrobiologie-Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, 1973. 222 p.
- Soinine J., Eloranta P. Seasonal persistence and stability of diatom communities in rivers: Are there habitat specific differences?, *European Journal of Psychology*. 2004. Vol. 39. P. 153–160.
- Tang T. S., Niu D. Dudgeon. Responses of epibenthic algal assemblages to water abstraction in Hong Kong streams, *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 703. P. 225–237.
- Tesolin G., Tell G. The epiphytic algae on floating macrophytes of a Paraná river floodplain lake, *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 333. P. 111–120.
- Torresi M., Rimet F., Cauchieb H. M., Hoffmann L., Ector L. Bioindication par les diatomees epilithiques et epiphytes dans la rivier Sure (Luxembourg), *Royal Botanical Society of Belgium*. 2006. Vol. 139. No. 1. P. 39–48.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands, Journal of Aquatic Ecology*. 1994. Vol. 28. No. 1. P. 177–133.
- Vladimirova K. S. Phytomicrobenthosis of the Dnieper River and Dnieper-Bug estuary. Kiev: Nauk. dumka, 1989. 232 c.
- Volga River and its life. L.: Nauka, 1978. 348 p.
- Watanabe T., Asai K., Houki A. Biological information closely related to the numerical index DAIPo (Diatom Assemblage Index to Organic Water Pollution), *Jpn. J. Diatomol.* 1988. Vol. 4. P. 49–58.
- Watanabe T., Asai K., Houki A. Numerical water quality monitoring of organic pollution using diatom assemblages, *Sci. Total. Environ.* 1986. Vol. 55. P. 209–218.
- Watanabe T., Asai K., Houki A. and Michiaki S. Numerical simulation of organic pollution based on the attached diatom assemblage in Lake Biwa, *Diatom*. 1990. Vol. 5. P. 9–20.
- Wegl R. Index fur die Limnosaprobitat. Wasser und Abwasser. German: Print book, 1983. 175 p.
- Whitton B. A., Rott E. Use of algae for monitoring rivers II. Innsbruck: Institut für Botanik, Universität Innsbruck, 1996. 196 p.
- Zueva N. V. Alekseev D. K. Kulichenko A. Yu. Primak E. A. Zuev Yu. A. Voyakina E. Yu. Stepanova A. B. Bioindication and biotesting in freshwater ecosystems: a textbook for higher education institutions. SPb.: RGGMU, 2019. 140 p.