



**Издатель**

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

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<https://ecopri.ru>

**№ 2 (36). Июнь, 2020**

**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  
Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. М. Макаров

**Редакционная  
коллегия**

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

**Службы поддержки**

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, ул. Ленина, 33.

E-mail: [ecopri@petsu.ru](mailto:ecopri@petsu.ru)

<https://ecopri.ru>





УДК 574.583(28):581 – Биологические науки

# ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ НЕКОТОРЫХ ЛЕВОБЕРЕЖНЫХ ПРИТОКОВ Р. ВОЛГИ (БАССЕЙН ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

**КУЛИЗИН  
Павел  
Владимирович**

*ННГУ им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний Новгород, пр.  
Гагарина, 23), [KulizinPavel@yandex.ru](mailto:KulizinPavel@yandex.ru)*

**ВОДЕНЕЕВА  
Екатерина  
Леонидовна**

*к. б. н., доцент, ННГУ им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний  
Новгород, пр. Гагарина, 23), [vodeneeva@mail.ru](mailto:vodeneeva@mail.ru)*

**ОХАПКИН  
Александр  
Геннадьевич**

*д. б. н., ННГУ им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний Новгород,  
пр. Гагарина, 23), [okhapkin@bio.unn.ru](mailto:okhapkin@bio.unn.ru)*

**Ключевые слова:**  
фитопланктон,  
качество воды,  
«функциональные»  
группы,  
показатель  
экологического  
состояния, Q  
индекс,  
сапробность

**Аннотация.** На примере двух равнинных рек бассейна Средней Волги показаны результаты использования принятых в странах Европы (WDF) и РФ подходов к оценке качества вод и их вероятная связь. Применение функциональной классификации фитопланктона выявило преобладание в планктоне рек водорослей из кодонов TB, D, часто при сопутствии в летний период групп, показателей эвтрофирования вод (P, H1, W2, L0). Продемонстрирована более высокая чувствительность индексов сообщества Q и EQR как показателей экологического состояния в сравнении с сапробиологическим анализом и индексом УКИЗВ.

**Рецензент:**  
Е. В. Лепская

**Получена:**  
09 сентября 2019  
года

**Подписана к  
печати:**  
23 июня 2020 года

© Петрозаводский государственный университет

## Введение

Прогрессирующее усиление темпов загрязнения и эвтрофирования водных экосистем и контроль за их состоянием, основанный на научно разработанной оценке

качества вод, приобретает особую значимость при мониторинге водных ресурсов (Семенченко, Разлуцкий, 2011). Традиционные физические и химические методы контроля качества вод и биоиндикации в разных странах достаточно сильно различаются и нередко адаптированы к условиям региона. В России на протяжении многих лет распространенной является система сапробности, направленная на оценку органического загрязнения и часто не отражающая истинного состояния качества вод водоемов (Шитиков и др., 2003).

Исходя из того, что к разным экологическим условиям адаптирована группа видов водорослей, сходных по устойчивости к определенным абиотическим факторам, в рамках концепции Водной Рамочной Директивы Европейского союза (WFD) была разработана и принята функциональная классификация фитопланктона и связанные с ней индексы сообщества  $Q$  и  $EQR$  (Семенченко, Разлуцкий, 2011; Reynolds et al., 2002; Borics et al., 2007; Piirsoo et al., 2010; Abonyi et al., 2014).

Цель работы – использование метода функциональной классификации фитопланктона и рассчитанных на его основе индексов сообщества  $Q$  и  $EQR$  для оценки качества вод двух крупных левобережных волжских притоков бассейна Чебоксарского водохранилища (рек Ветлуга и Керженец), а также сравнение полученных результатов с данными традиционно применяемых в РФ методов оценки качества воды по фитопланктону.

## Материалы

Пробы фитопланктона отбирались еженедельно в период открытой воды (с мая по ноябрь) в среднем течении рек Ветлуга (ст. 1 – Воскресенский район, д. Чернышиха – 2014, 2016 гг., ст. 2 – Варнавинский район, пос. Варнавино – 2010 г.) и Керженец (ст. 3 – Борский район, пос. Рустай – 2008, 2014 и 2016 гг.) (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема исследованных водотоков с обозначением станций отбора проб

Fig. 1. Map of the studied watercourses with designation of sample stations

Отбор и обработка проб проводились по общепринятой для фитопланктона методике (Методика..., 1975; Экологический мониторинг..., 1995). Водоросли идентифицировали с использованием микроскопа MEIJI (Япония) при увеличении  $1000\times$ . Перечень определителей и сводок, используемый для определения видового состава, указывался в предыдущих работах (Охупкин, 1998; Воденеева, 2006б). Всего было проанализировано порядка 60 проб фитопланктона.

## Методы

Качество воды оценивали по индексу сапробности, рассчитанному по численности ( $S_N$ ) и биомассе ( $S_B$ ) индикаторных видов (Оксиюк и др., 1993). Значение индексов сапробности для отдельных видов приведены в соответствии с «Унифицированными методами исследования...» (Унифицированные методы..., 1975,

1977), а также работой R. Wegl (Wegl, 1983). Величины индекса сапробности соответствовали классам качества воды: 4.00 – грязные (VI) (Методика..., 1975; Оксий и др., 1993).

Расчет индекса сообществ  $Q$  производился по формуле (Семенченко, Разлуцкий, 2011):

$$Q = \sum P_i F_i,$$

где  $P_i$  – доля биомассы  $i$ -й функциональной группы в общей биомассе функциональных групп;  $F$  – коэффициент этой группы в исследуемой группе водоемов.

Функциональные группы фитопланктона, а также фактор  $F$ , необходимые для расчета индекса  $Q$ , выделяли согласно классификации Рейнольдса (Reynolds, 2002) с дополнениями Падисак (Padisak et al., 2009) и Борикс (Borics, 2007). Индекс  $Q$  соответствовал значениям экологического состояния согласно шкале от 0 до 5: 0–1 – плохое, 1–2 – низкое, 2–3 – умеренное, 3–4 – хорошее и 4–5 – высокое.

Показатель экологического качества (Ecological Quality Ratio (EQR)) (Семенченко, Разлуцкий, 2011; Borics, 2007) оценивается как отношение наблюдаемого значения к эталонному (ожидаемому) и применяется для разных биоиндикаторов, в том числе и для фитопланктона:

$$EQR = Q/5.$$

По значениям  $EQR$  Водная Рамочная Директива делит весь диапазон условий на пять категорий качества (от 0 до 1): высокое (High), хорошее (Good), умеренное (Moderate), низкое (Poor), плохое (Bad) (Семенченко, Разлуцкий, 2011). Чем ближе значения  $EQR$  к единице, тем выше степень сходства между наблюдаемыми и эталонными условиями и, как следствие, лучше экологическое состояние водоема.

Статистическую обработку проводили с использованием программы Statistica 8.0, достоверность различий определяли с помощью критерия Манна – Уитни.

## Результаты

Реки Керженец и Ветлуга являются типично равнинными и входят в систему Волги и ее притоков. По характеру водного режима они относятся к восточноевропейскому типу с преимущественно снеговым типом питания (Природа..., 1974). По длине русла (р. Ветлуга – 899 км, р. Керженец – 290 км) и площади водосборного бассейна (39400 км<sup>2</sup> и 6140 км<sup>2</sup>) исследуемые водотоки относятся к категориям больших и средних рек.

Особенностями вод исследованных рек являются низкая минерализация, слабокислая реакция и повышенные значения цветности. По результатам гидрохимической оценки качество вод в р. Ветлуге изменялось в среднем классами 3 «б» – 4 «а» (очень загрязненные – грязные), а в р. Керженец – 3 «б» (очень загрязненные) (таблица). Для р. Ветлуги в 2014 и 2016 гг. характерно высокое содержание органических веществ (по ХПК) до 47.2 мг/л, соединений меди до 2–8 ПДК и железа до 4–9 ПДК (по максимальным концентрациям) (Качество..., 2017). В 2010 г. качество воды вниз по течению реки ухудшалось от разряда «б» 3-го класса на участках реки у г. Ветлуга (УКИЗВ 3.14) до разряда «а» 4-го класса в черте д. Марьино (4.35) (Качество..., 2011). Для р. Керженец характерно загрязнение воды нефтепродуктами (до 4 ПДК), органическими веществами (по ХПК) до 37.5 мг/л, соединениями меди (до 3 ПДК), железа (до 4 ПДК). Качество воды р. Керженец стабилизировалось на уровне разряда «б» 3-го класса («очень загрязненная» вода) (Качество..., 2017).

Анализ архивных данных, литературных источников (Воденеева, 2006а, 2006б; Воденеева и др., 2016) и результаты собственных наблюдений позволили выявить в планктоне 795 видовых и внутривидовых таксонов водорослей, относящихся к 189 родам, 67 семействам, 25 порядкам, принадлежащих 8 отделам. Таксономическое разнообразие водорослей в исследованных водотоках было представлено 592 (р. Керженец) и 531 (р. Ветлуга) видовыми и внутривидовыми таксонами. Ведущими систематическими группами в водотоках выступали зеленые (по 42 % от общего

таксономического разнообразия) и диатомовые (25–30 %) водоросли. Значительная доля видового богатства принадлежала отделам *Euglenophyta* (10 и 13 %) и *Cyanophyta* (по 7 %). Менее значимыми были отделы *Chrysophyta* (5 и 6 %), *Dinophyta* (2.5 и 2 %), *Xanthophyta* (2 и 3 %) и *Cryptophyta* (1.5 и 2 %). Сравнительный анализ видового состава фитопланктона исследованных водотоков показал довольно высокую степень сходства (коэффициент Серенсена  $K_S = 58$  %) их флористических списков, что отражает общность условий формирования стока этих рек. Высокое видовое богатство фитопланктона и его своеобразие в каждом водотоке определялись в основном природными особенностями водосбора, характеризующегося преобладанием лесов и болот, морфометрией (длина русла), гидродинамическим режимом, содержанием биогенных элементов и органических веществ.

Средние за год значения биомассы фитопланктона в р. Керженец в разные годы исследований достоверно не отличались и составляли от  $1.39 \pm 0.24$  (в 2016 г.) до  $2.07 \pm 0.68$  г/м<sup>3</sup> (в 2008 г.) с максимумом значений ( $12.08$  г/м<sup>3</sup>) в 2014 г. и были схожими с предыдущими годами исследований (Воденеева, 2006б). В р. Ветлуге биомасса фитопланктона варьировала в разные годы от  $1.04 \pm 0.18$  (в 2016 г.) до  $1.51 \pm 0.42$  г/м<sup>3</sup> (в 2014 г.) с наибольшими показателями ( $4.38$  г/м<sup>3</sup>) в 2014 г. Общая биомасса растительного планктона исследуемых водотоков, как правило, была сформирована диатомовыми (72–75 % средневегетационной) и зелеными (8.9–9 %), а в летний период — синезелеными (до 63 % биомассы фитопланктона р. Ветлуги) и динофитовыми (до 76 % в р. Керженец) водорослями.

Средние значения индексов сапробности р. Керженец, вычисленные по численности ( $1.86 \pm 0.05$  – 2008 г.,  $2.06 \pm 0.02$  – 2014 г.,  $1.82 \pm 0.04$  – 2016 г.) и биомассе ( $1.95 \pm 0.04$  – 2008 г.,  $2.01 \pm 0.03$  – 2014 г.,  $1.8 \pm 0.06$  – 2016 г.), в разные годы менялись незначительно, соответствуя уровню умеренно загрязненных вод. В р. Ветлуге во все сезоны вегетации разных лет исследований варьирование показателей органического загрязнения также происходило в пределах III класса вод (умеренно загрязненные).

Фитопланктон обеих рек в период исследования был представлен 21 функциональной группой (кодоном) фитопланктона, среди которых постоянным и ведущим компонентом выступала группа **Т<sub>B</sub>**. Для части представителей литературные данные о принадлежности к какой-либо группе отсутствовали. Общими для обеих рек оказалось 16 кодонов (**P, D, W<sub>0</sub>, W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, F, E, H<sub>1</sub>, L<sub>0</sub>, C, T<sub>B</sub>, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, J и Y**).

Применение функциональной классификации пресноводных водорослей для оценки качества вод по индексу сообщества *Q* показало, что в р. Керженец средние его значения изменялись от  $2.33 \pm 0.15$  до  $3.42 \pm 0.18$  и соответствовали «умеренному» (2008, 2014 гг.) и «хорошему» (2016 г.) состоянию вод. Показатель экологического состояния *EQR* оценивал качество вод р. Керженец как «низкое» (2008 г.), «плохое» (2014 г.) и «умеренное» (2016 г.) (см. табл. 1).

В р. Ветлуге средний за период исследований индекс *Q* варьировал от  $2.58 \pm 0.15$  до  $3.15 \pm 0.2$ , а индекс *EQR* – от  $0.51 \pm 0.03$  до  $0.63 \pm 0.03$ . Качество вод по индексу *Q* оценивалось как «умеренное» (2010 г.) и «хорошее» (2014, 2016 гг.), а по *EQR* – как «низкое» (2010 г.) и «умеренное» (2014, 2016 гг.).

Оценка качества воды исследуемых водотоков с использованием разных подходов

Водоток	Показатель качества и экологического состояния	Сезон			
		весна	лето	осень	вегетационный период

Ветлуга (2014/ 2016)	<i>Sb</i> индекс сапробности, рассчитанный по биомассе фитопланктона	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные
	<i>Q</i>	хорошее	умеренное	хорошее	хорошее
	<i>EQR</i>	хорошее	плохое/низкое	хорошее	умеренное
	Гидрохимический показатель УКИЗВ*	-	-	-	«Б» III класс (очень загрязненная)
Ветлуга (2010)	<i>Sb</i>	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные
	<i>Q</i>	умеренное	умеренное	хорошее	умеренное
	<i>EQR</i>	плохое	низкое	умеренное	низкое
	Гидрохимический показатель УКИЗВ*	-	-	-	От «Б» III класса до разряда «А» IV класса
Керженец (2014/ 2016)	<i>Sb</i>	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные	III класс качества умеренно загрязненные
	<i>Q</i>	умеренное	хорошее	умеренное/ хорошее	умеренное
	<i>EQR</i>	плохое	умеренное	плохое	низкое
	Гидрохимический показатель УКИЗВ*	-	-	-	«Б» III класс (очень загрязненная)

## Обсуждение

Индекс сапробности, разработанный в (Pantle, Buck, 1955; Sládeček, 1963; Zelinka, Marvan, 1968), характеризует органическое загрязнение водных масс в виде числовых значений и позволяет сравнивать состояние водоемов различных районов и в разные сроки исследования (Семенченко, Разлуцкий, 2011). Этот показатель оказался информативным в долгосрочной перспективе, что позволило выявить изменения в сторону ухудшения качества вод р. Волги с начала XX в. по настоящее время (Охапкин, 1997; Воденеева и др., 2016). В некоторых случаях он не отражал реального состояния вод, испытывающих загрязнение не только легко минерализуемыми органическими веществами, но также тяжелыми металлами и нефтепродуктами (Старцева, 2002).

Сезонные изменения индексов сапробности в р. Керженец выражены довольно четко, отражая ход процессов загрязнения и самоочищения, протекающих в водотоках (рис. 2). Весной при максимальном поступлении органических веществ с водосборной территории, с водами половодья показатели загрязнения вод органическим веществом возрастали. Наблюдалось интенсивное развитие фитопланктона, связанное с поступлением в планктон бентосных диатомей *Melosira varians* Ag., *Navicula radiosa* Kütz., *Surirella robusta* Ehr. и развитием зеленых водорослей (*Pandorina morum* (O. F. Müll.) Bory., виды рода *Chlamydomonas*), большая часть из которых является β-мезосапробами. В начале лета значения индексов сапробности

снижались, отражая активацию процессов самоочищения воды. Основу биомассы также определяла *Melosira varians* при содоминировании пеннатных диатомей. В конце лета и осенью наблюдалась стабилизация индексов сапробности по численности и биомассе в пределах от 1.6 до 2.2.

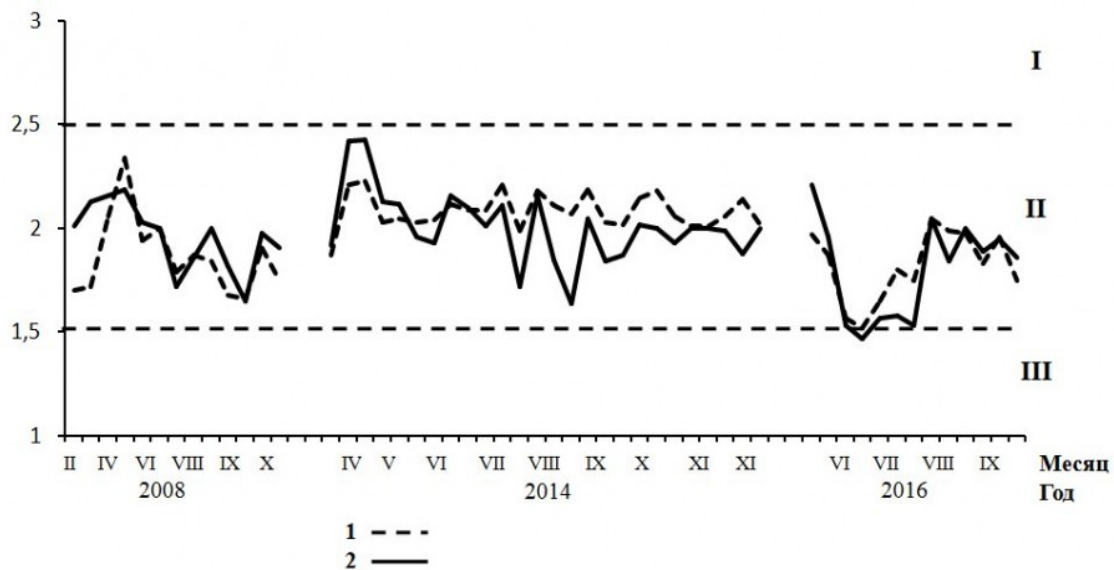


Рис. 2. Динамика индекса сапробности, рассчитанного по численности (1) и биомассе (2) фитопланктона р. Керженец в разные годы исследований. Условные обозначения: I – загрязненная (IV класс), II – умеренно загрязненная (III класс), III – чистая (II класс)

Fig. 2. Dynamics of the saprobity index calculated from the abundance (1) and biomass (2) of phytoplankton in the Kerzhenets river in different years. Water quality: I – fairly poor (IV class), II – fair (III class), III – good (II class)

В р. Ветлуге с марта по ноябрь показатели органического загрязнения также варьировали в пределах III класса вод (умеренно загрязненные) за счет присутствия в водах  $\beta$ -мезосапробов: *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère., *Navicula radiosa*, *Pinnularia viridis* (Nitz.) Ehr., *Pandorina morum* и видов рода *Chlamydomonas*, *Dolichospermum spiroides* (Kleb.) Wacklin, Hoffm. & Komárek и др. (рис. 3).

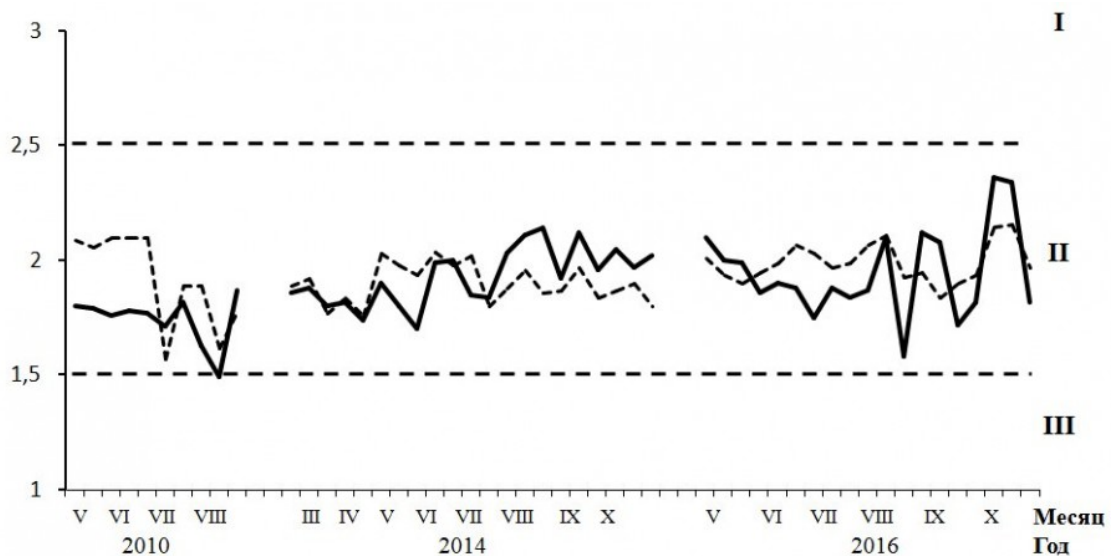


Рис. 3. Динамика индекса сапробности, рассчитанного по численности ( $S_N$ ) и биомассе ( $S_B$ ) фитопланктона р. Ветлуги в разные годы исследований. Условные

обозначения те же, что и на рис. 2

Fig. 3. Dynamics of the saprobity index calculated from the abundance (1) and biomass (2) of phytoplankton in the Vetluga river in different years. Water quality: I – fairly poor (IV class), II – fair (III class), III – good (II class)

В 2010 г. повышение значений индексов сапробности наблюдалось весной ( $1.78 \pm 0.01 - S_B$ ;  $2.08 \pm 0.01 - S_N$ ) и летом ( $1.88 \pm 0.07 - S_B$ ;  $1.72 \pm 0.04 - S_N$ ), когда в планктоне доминировали водоросли – показатели  $\beta$ - $\alpha$  и  $\alpha$ -мезосапробных условий (*Pteromonas angulosa* (Cart.) Lemm. индикационное значение 2.3), эвгленовых (весна) и синезеленых водорослей (лето). В 2014 и 2016 гг. максимальные индексы сапробности ( $2.14 - S_B$ ,  $1.96 - S_N$  в 2014 г.;  $2.36 - S_B$ ,  $2.15 - S_N$  в 2016 г.) отмечены осенью, что связано с развитием  $\alpha$ -мезосапроба *Stephanodiscus hantzschii* Grun.

В обеих реках в течение всех периодов исследования индексы сапробности, вычисленные как по численности, так и по биомассе, колебались преимущественно в диапазоне только III класса качества вод (см. таблицу).

В р. Керженец в весенних комплексах доминировали представители кодона **T<sub>B</sub>** (*Melosira varians*) в сопровождении кодонов **W<sub>0</sub>** (виды рода *Chlamydomonas* spp.), **W<sub>2</sub>** (*Gymnodinium* spp.) и **B** (*Aulacoseira* cf. *subarctica* (O. Müll.) Haworth). Летом формировался более разнообразный комплекс, представленный кодонами **T<sub>B</sub>** (*Melosira varians* – *Navicula* spp.), **B**, **P**, **W<sub>0</sub>** и **W<sub>2</sub>**. Осенние альгоценозы менее разнообразны и вновь определялись развитием диатомей из группы **T<sub>B</sub>** (*Melosira varians*). В последние годы в сложении альгоценозов возрастает доля динофитовых водорослей, особенно в летний сезон, когда формируется более лимнофильный планктон с преобладанием групп **W<sub>2</sub>** и **L<sub>0</sub>** (*Gymnodinium* spp., *Peridiniopsis kevei* Grigor. et Vasas).

В 2008 г. в р. Керженец основным компонентом потамопланктона весной и осенью выступала *Melosira varians* (кодон **T<sub>B</sub>**), которая является показателем истинно лотических условий и характеризующаяся высоким значением фактора *F*. Наблюдающаяся летом в последние годы (2014, 2016 гг.) смена ценоценозов фитопланктона с доминированием фитофлагеллят (*Gymnodinium* sp., *Peridiniopsis kevei*), вероятно, связана с изменением уровня режима, снижением степени турбулентности и постепенным переходом лотических условий к лимническим. Это отразилось на значениях индексов *Q* ( $1.91 \pm 0.13$  в 2014 г.,  $2.86 \pm 0.14$  в 2016 г.) и *EQR* ( $0.37 \pm 0.02$  в 2014 г.,  $0.57 \pm 0.02$  в 2016 г.) в сторону ухудшения экологического состояния в период низких значений водности.

Доминирование в весенних и осенних альгоценозах р. Керженец во все годы исследований группы **T<sub>B</sub>** обусловлено увеличением в этот период проточности и формированием истинных лотических условий, что отразилось на улучшении экологического состояния реки. По индексу *Q* воды реки в данные периоды соответствовали «хорошему» (2008 г.) и «умеренному» (2014 г.) экологическому состоянию.

Летом отмечалось содоминирование различных функциональных групп с доминированием лимнофильных автохтонных и аллохтонных представителей (кодонами **L<sub>0</sub>**, **W<sub>1</sub>**), что, вероятно, определялось сменой гидродинамических условий и обогащением вод биогенными элементами (Качество..., 2017). Качество вод варьировало от «умеренного» (2008, 2016 гг.) до «низкого» (2014 г.) (см. таблицу, рис. 4, 6).



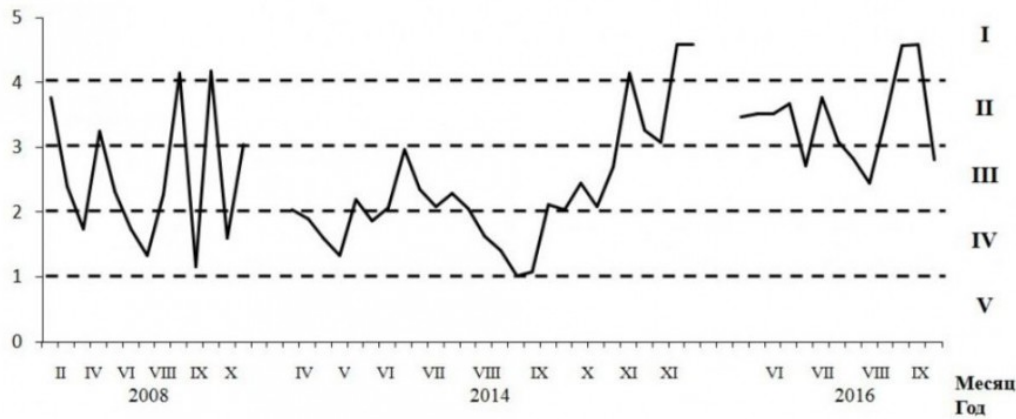


Рис. 4. Динамика индекса  $Q$  в р. Керженец, рассчитанного по функциональным группам фитопланктона в разные годы исследований. Условные обозначения: I – высокое, II – хорошее, III – умеренное, IV – низкое, V – плохое качество вод

Fig. 4. Dynamics of the  $Q$  index in the Kerzhenets river calculated by phytoplankton functional groups in different years. Water quality: I – excellent, II – good, III – medium, IV – tolerable, V – bad

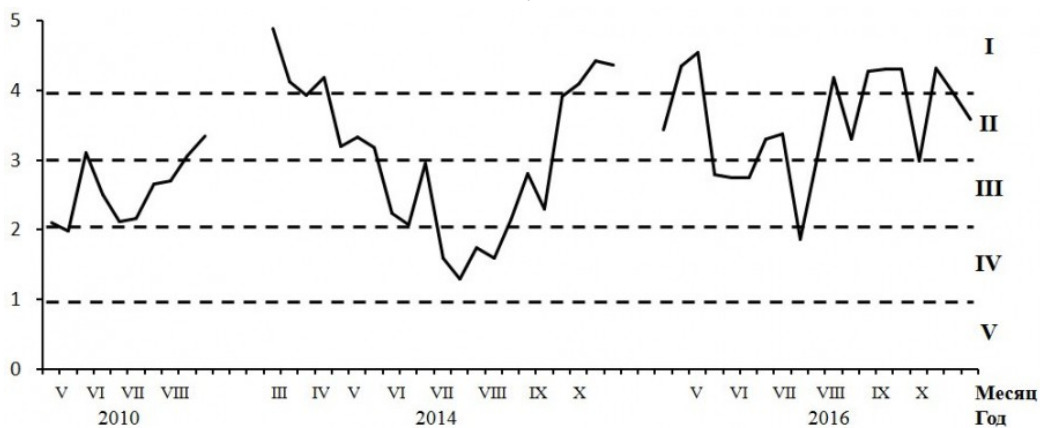


Рис. 5. Динамика индекса  $Q$  в р. Ветлуге, рассчитанного по функциональным группам фитопланктона в разные годы исследований. Условные обозначения те же, что и на рис. 4

Fig. 5. Dynamics of the  $Q$  index in the Vetluga river calculated by phytoplankton functional groups in different years. Water quality: I – excellent, II – good, III – medium, IV – tolerable, V – bad

В р. Ветлуге весной доминировали диатомовые водоросли из групп **T<sub>B</sub>** (*M. varians*, *Amphora ovalis* (Kütz.) Kütz., *Navicula radiosa*), **D** (*Ulnaria ulna*) с сопутствием золотистых водорослей из группы **E** (*Dinobryon divergens* Imhof.). Более разнообразно, как и в р. Керженец, функциональные группы были представлены в летний сезон. Помимо постоянно присутствующих представителей групп (**T<sub>B</sub>** и **D**), летом появлялись виды, свойственные эвтрофным водоемам из кодонов **P** (*Aulacosira granulata* (Ehr.) Simonsen), **H<sub>1</sub>** (*Dolichospermum spiroides*) при участии динофитовых водорослей (кодоны **W<sub>2</sub>** – *Gymnodinium* spp., **L<sub>0</sub>** – *Peridinium* spp.). Осенние альгоценозы определялись развитием групп **T<sub>B</sub>** (*N. radiosa*, *Nitzschia* spp.), **D** (*U. ulna*, *Stephanodiscus hantzschii* Grun.), **B** и **P**.

В аномально теплом и маловодном 2010 г. в весенних и летних альгоценозах интенсивнее обычного вегетировали фитофлагелляты лимнического комплекса **L<sub>0</sub>-W<sub>2</sub>** (*Peridinium* spp., *Gymnodinium* spp.) при участии групп **W<sub>0</sub>** (*Chlamydomonas* spp.) и **W<sub>1</sub>** (*Euglena* spp.), летом – групп **B** (*Aulacoseira* cf. *subarctica*), **H<sub>1</sub>** (*Dolichospermum affine* (Lemmerm.) Wacklin, L. Hoffm. & Komárek.), осенью – **P** (*A. granulata*).

В р. Ветлуге в сезонном аспекте низкие значения индексов  $Q$  и  $EQR$  отмечались

летом за счет доминирования цианопрокариот (*Dolichospermum spiroides*, *D. affine*) и динофлагеллят (*Gymnodinium sp.*, *Peridiniopsis kevei*) с низкими значениями фактора  $F$  (рис. 5, 7).

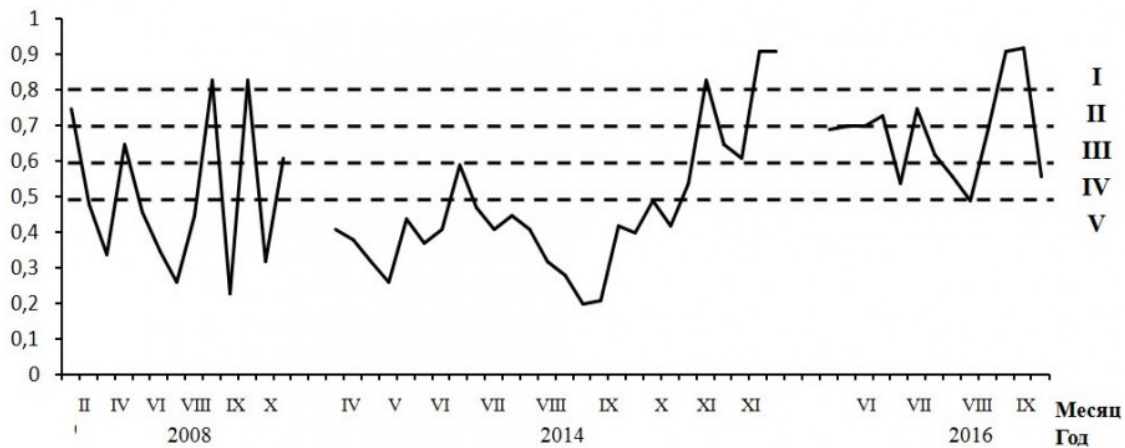


Рис. 6. Динамика индекса  $EQR$  в р. Керженец, рассчитанного по функциональным группам фитопланктона в разные годы исследований. Условные обозначения те же, что и на рис. 4

Fig. 6. Dynamics of the  $EQR$  index in the Kerzhenets river calculated by phytoplankton functional groups in different years. Water quality: I – excellent, II – good, III – medium, IV – tolerable, V – bad

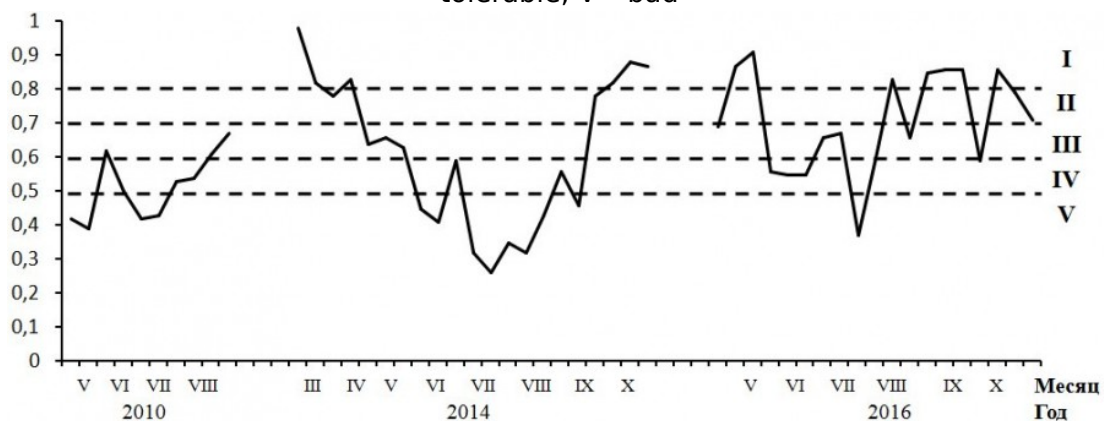


Рис. 7. Динамика индекса  $EQR$  в р. Ветлуге, рассчитанного по функциональным группам фитопланктона в разные годы исследований. Условные обозначения те же, что и на рис. 4

Fig. 7. Dynamics of the  $EQR$  index in the Vetluga river calculated by phytoplankton functional groups in different years. Water quality: I – excellent, II – good, III – medium, IV – tolerable, V – bad

Набор функциональных групп и их сукцессия для фитопланктона р. Ветлуги оказались схожими. Весной и осенью отмечено доминирование диатомей из группы **T<sub>B</sub>**. Летом набор функциональных групп был более разнообразен, что являлось следствием резкого возрастания видового богатства фитопланктона и уже отмечалось ранее (Piirsoo et al., 2010). Присутствие в период аномально высоких температур 2010 г. групп **L<sub>0</sub>**, **W<sub>1</sub>**, **H<sub>1</sub>**, **P** свидетельствовало об уменьшении расхода воды (минимальные значения отмечены в летний период – 27.6 м<sup>3</sup>/с при среднем значении 140 м<sup>3</sup>/с) и высоком содержании органических веществ, способствующих развитию «эвтрофного» планктона. Качество вод варьировало в пределах двух классов: «хорошее» (весна, осень) и «умеренное» (лето) (см. таблицу, рис. 5, 7).

В отличие от индекса сапробности,  $Q$  и  $EQR$  продемонстрировали значимые отличия одной реки от другой, указывая на более напряженное экологическое состояние р. Керженец (см. таблицу). Возможно, это определяется меньшей водностью

и протяженностью этой реки в сравнении с р. Ветлугой и различиями физико-географических характеристик их водных бассейнов. Межгодовые флуктуации экологического состояния, согласно этому подходу, в целом не значимы, кроме аномально жаркого и маловодного 2010 г., который как по индексу сапробности, так и по гидрохимическим показателям (УКИЗВ) отличался заметным снижением качества воды р. Ветлуги.

Сравнение средних значений индексов сапробности, подсчитанных для различных сезонов и между отдельными годами, не выявило достоверных различий. Только для аномально жаркого и маловодного года (2010 г.) эти различия проявились более существенно для р. Ветлуги (критерий Манна – Уитни равен 24.5 (2010 и 2014 гг.) и 28.5 (2010 и 2016 гг.) при  $p < 0.05$ ).

## Заключение

Применение различных методов оценки качества воды и экологического состояния водотоков показало, что система сапробности в большинстве случаев не выявила значимых различий между сезонами и между разными годами, что было показано и для правобережных притоков р. Волги (Воденеева и др., 2019). Показатели сапробности позволили показать заметное различие в качестве вод р. Ветлуги лишь для аномально жаркого 2010 г. В целом сапробиологический анализ не выявил достоверных различий качества воды в реках, протекающих в пределах одного водосбора и испытывающих разную антропогенную нагрузку.

В отличие от индекса сапробности,  $Q$  и  $EQR$  отразили воздействие суммы компонентов среды, формирующей качество воды, и выявили отличия одной реки от другой, определяющиеся различием морфометрии, гидродинамики и физико-географических характеристик их водных бассейнов.

Таким образом, применение разных подходов позволило получить более полную информацию об экологическом состоянии водотоков и качестве их вод. Рассмотренные индексы не заменяют, а скорее дополняют друг друга, поскольку отражают различные аспекты качественных изменений, происходящих в водотоках и на водосборе.

## Библиография

Воденеева Е. Л. Состав и структура фитопланктона гумозно-ацидных водоемов (на примере водных объектов заповедника «Керженский»): Дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2006а. 165 с.

Воденеева Е. Л. Динамика биомассы и доминирующие виды фитопланктона водных объектов заповедника «Керженский» // Труды ГПБЗ «Керженский». Нижний Новгород, 2006б. Т. 3. С. 46–57.

Воденеева Е. Л., Кулизин П. В., Охапкин А. Г. О развитии инвазийного вида *Peridiniopsis kevei* et *Vasas* (Dinophyta) в среднем течении р. Керженец (Нижегородская область) // Труды Государственного природного заповедника «Керженский». Т. 8. Нижний Новгород, 2016. С. 68–75.

Воденеева Е. Л., Кулизин П. В., Коломина К. Е., Шарагина Е. М., Охапкин А. Г. Оценка качества воды некоторых правобережных притоков р. Волги (бассейн Чебоксарского водохранилища) с использованием функциональной классификации фитопланктона // Гидробиологический журнал. 2019. Т. 55. № 6. С. 56–70.

Качество поверхностных вод Российской Федерации: Ежегодник 2010. Ростов-на-Дону, 2011. 553 с.

Качество поверхностных вод Российской Федерации: Ежегодник 2016. Ростов-на-Дону, 2017. 555 с.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовский. М.: Наука, 1975. 239 с.

Оксиюк О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.

Охапкин А. Г. Видовой состав фитопланктона как показатель условий

существования в водотоках разного типа // Ботанический журнал. 1998. Т. 83. № 9. С. 1–13.

Охапкин А. Г. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков) : Дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1997. 280 с.

Природа Горьковской области . Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1974. С. 126–179.

Семенченко В. П., Разлуцкий В. И. Экологическое качество поверхностных вод . 2-е изд., испр. Минск: Белорусская наука, 2011. 329 с.

Старцева Н. А. Состав и структура фитопланктона малых водоемов урбанизированного ландшафта (на примере г. Нижнего Новгорода): Дис. ... канд. биол. наук . Нижний Новгород, 2002. 170 с.

Унифицированные методы исследования качества вод: Атлас сапробных организмов . М., 1977. 227 с.

Унифицированные методы исследования качества вод: Методы биологического анализа вод . М., 1975. Ч. 3. 176 с.

Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. . Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

Экологический мониторинг. Методы биомониторинга . Нижний Новгород: ННГУ, 1995. 192 с.

Abonyi A., Leitão M., Stanković I., Borics G., Várbíró G., Padisák J. A large river (River Loire, France) survey to compare phytoplankton functional approaches: do they display river zones in similar ways? // Ecological indicators. 2014. Vol. 46. P. 11–22.

Borics G., Várbíró G., Grigorszky I., Krasznai E., Szabó S., Kiss K. A new evaluation technique of potamoplankton for the assessment of the ecological status of rivers // Arch. Hydrobiol. Suppl. 2007. Vol. 161 (3–4). P. 465–486.

Padisák J., Crossetti L. O., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates // Hydrobiologia. 2009. Vol. 621. P. 1–19.

Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und Darstellung der Ergebnisse // Gas und Wasserfach. 1955. Vol. 96. № 18. P. 604–618.

Piirsoo K., Pall P., Tuvikene A., Viik M., Vilbaste S. Assessment of water quality in a large lowland river (Narva, Estonia / Russia) using a new Hungarian potamoplanktic method // Estonian Journal of Ecology. 2010. Vol. 59. № 4. P. 243–258.

Reynolds C. S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L. & Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // Journal of Plankton Research. 2002. Vol. 24. № 5. P. 417–428.

Reynolds C. S., Irish A. E. Modelling phytoplankton dynamics in lakes and reservoirs: the problem of in-situ growth rates // Hydrobiologia. 1997. P. 5–17.

Sládeček V. A guide to limnosaprobial organisms // Sb. Vysokeskoly chem. – technol. v Praze. 1963. Bd. 7. № 2. S. 543–612.

Wegl R. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd. 26. P. 1–175.

Zelinka M., Marvan P. Bemerkungen zu neuen Methoden der saprobiologischen Wasserbeurteilung // Verhandlung Int. Vereinigung de Limnologie. 1968. Bd. 16. S. 817–822.

## **Благодарности**

Авторы выражают благодарность заместителю начальника ЦМС ФГБУ «ВЕРХНЕ-ВОЛЖСКОЕ УГМС» В. А. Максимовой за предоставленные для анализа материалы по гидрохимии и гидрологии исследованных водотоков.

# THE EXPERIENCE OF USING THE FUNCTIONAL CLASSIFICATION OF PHYTOPLANKTON TO ASSESS THE WATER QUALITY OF SOME LEFT-BANK TRIBUTARIES OF THE VOLGA RIVER (BASIN OF THE CHEBOKSARY RESERVOIR)

**KULIZIN Pavel Vladimirovich** *Lobachevsky university (Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 23), KulizinPavel@yandex.ru*

**VODENEEVA Ekaterina Leonidovna** *Ph.D., Lobachevsky university (Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 23), vodeneeva@mail.ru*

**OKHAPKIN Alexander Gennadyevich** *D.Sc., Lobachevsky university (Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 23), okhapkin@bio.unn.ru*

**Keywords:** phytoplankton, water quality, “functional” groups, indicator of ecological status, Q index, saprobity

**Reviewer:** E. V. Lepskaya

**Received on:** 09 September 2019

**Published on:** 23 June 2020

**Summary:** On the example of two flat rivers of the Middle Volga basin, the results of using the approaches adopted in Europe (WDF) and in the Russian Federation to assess water quality and their probable relationship are shown. The use of the functional classification of phytoplankton revealed the predominance of algae in the plankton of the TB, D codons, often when accompanied in the summer by groups, indicators of water eutrophication (P, H1, W2, L0). A higher sensitivity of the community indexes Q and EQR as indicators of environmental status was demonstrated in comparison with the saprobiological analysis and the UKIZV index.