

Оригинальная статья / Original article

УДК 502.51(282)

DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-88-97

Оценка уровня трофности и самоочищающей способности малого водотока по гидрохимическим показателям (на примере р. Рпень)

Татьяна А. Трифонова^{1,2}, Светлана М. Чеснокова², Олег В. Савельев²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), Владимир, Россия

Контактное лицо

Татьяна А. Трифонова, доктор биологических наук, профессор факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой биологии и экологии, заслуженный деятель науки РФ, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых; 119991 Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12. Тел. +79107712442

Email tatrifon@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

Формат цитирования

Трифопова Т.А., Чеснокова С.М., Савельев О.В. Оценка уровня трофности и самоочищающей способности малого водотока по гидрохимическим показателям (на примере р. Рпень) // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 88-97. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-88-97

Получена 10 марта 2020 г.

Прошла рецензирование 26 июня 2020 г.

Принята 15 августа 2020 г.

Резюме

Цель. Оценка уровня трофности, токсичности для гидробионтов вод малого водотока урбанизированной территории по содержанию в воде биогенных элементов и его самоочищающей способности по значениям индекса нитрификации.

Материалы и методы. Концентрацию соединений биогенных элементов в водах реки определяли с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель 104Т». Содержание в воде легкоокисляемых органических соединений по величине перманганатной окисляемости (ПНО₅ Ф 14.1; 2.4.154-99), трудноокисляемых соединений – по величине химического потребления кислорода (РД 52.24.421-2012), отбор проб воды для анализа – по ГОСТ Р 51592-2000. Оценка уровня трофности воды оценивали по содержанию различных форм минерального азота и минерального фосфора. Агрегационный индекс, характеризующий токсичность различных форм минерального азота для гидробионтов, рассчитывали по их соотношению к ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения. Нитрифицирующую способность вод реки оценивали по величине индекса нитрификации (I_{нитр.}), рассчитываемого по соотношению в воде концентрации азота нитратов к сумме концентраций различных форм минерального азота, а самоочищающую способность по значениям индекса нитрификации.

Результаты. По величине агрегационного индекса вода во всех пунктах отбора проб токсична. Экосистема реки характеризуется слабой способностью к самоочищению и слабой нитрифицирующей способностью, что связано с влиянием на микробиоценоз водотока и организмы-фильтраторы многочисленных цианотоксинов.

Заключение. Показано, что наиболее чувствительным показателем трофности вод реки является концентрация минерального фосфора. По соотношению концентраций азота минерального к фосфору минеральному установили, что в фитопланктоне реки во всех исследованных пунктах преобладают сине-зеленые водоросли (цианобактерии) – продуценты цианотоксинов.

Ключевые слова

Малый водоток, гидрохимические показатели, тип трофности, индекс нитрификации, самоочищающая способность, агрегационный индекс.

Evaluation of the trophic level and self-cleaning ability of small flows by hydrochemical indicators (through the example of the Rpen River)

Tatiana A. Trifonova^{1,2}, Svetlana M. Chesnokova² and Oleg V. Savelev²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²A.G. and N.G. Stoletov Vladimir State University, Vladimir, Russia

Principal contact

Tatiana A. Trifonova, Dr of Biological Sciences, Professor, Faculty of Soil Science & Head Department of Biology and Ecology, A.G. and N.G. Stoletov Vladimir State University -Honoured Scientist of the Russian Federation; 1, building 12, Leninskie Gory, Moscow, Russia 119991. Tel. +79107712442 Email tatrifon@mail.ru ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

How to cite this article

Trifonova T.A., Chesnokova S.M., Savelev O.V. Evaluation of the trophic level and self-cleaning ability of small flows by hydrochemical indicators (through the example of the Rpen River). *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 88-97. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-88-97

Received 10 March 2020

Revised 26 June 2020

Accepted 15 August 2020

Abstract

Aim. Assessment by nitrification index values of the level of trophicity and toxicity for aquatic organisms in the waters of a small watercourse in an urbanized area by the content of nutrients in the water and its self-cleaning ability.

Materials and Methods. The concentration of compounds of nutrients in the waters of the river was determined using the "Kapel 104T." system of capillary electrophoresis. Water was sampled for analysis according to GOST R 51592- 2000. The water content of readily oxidized organic compounds was assessed by the magnitude of permanganate oxidizability (PND F 14.1; 2.4.154-99) and difficultly oxidized compounds by the magnitude of the chemical oxygen consumption (RD 52.24.421-2012). Assessment of the water trophic level was evaluated by measuring the content of various forms of mineral nitrogen and mineral phosphorus. The aggregation index characterizing the toxicity of various forms of mineral nitrogen to aquatic organisms was calculated by their ratio to MPC for fishery reservoirs. The nitrifying ability of river waters was estimated by the value of the nitrification index ($I_{nitr.}$), calculated by the ratio of the concentration of nitrogen of nitrates in water to the sum of the concentrations of various forms of mineral nitrogen and the self-cleaning ability by the values of the nitrification index.

Results. In terms of the aggregation index, water at all sampling points was found to be toxic. The river ecosystem is characterized by a weak ability to cleanse itself and a weak nitrifying ability, which is associated with the influence of numerous cyanotoxins on the microbiocenosis of the watercourse and filtration organisms.

Conclusion. It was shown that the most sensitive indicator of trophicity of river waters is the concentration of the mineral phosphorus. Through measuring the ratio of the concentrations of mineral nitrogen to mineral phosphorus, it was established that blue-green algae (cyanobacteria), producers of cyanotoxins, dominate in the phytoplankton of the river in all the points studied.

Key Words

Small watercourse, hydrochemical indicators, type of trophicity, nitrification index, self-cleaning ability, aggregation index.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире малые водоемы и водотоки загрязнены, подвержены процессу антропогенного эвтрофирования, что вызывает массовое развитие в них цианобактерий и потерю ими способности к самоочищению. Эвтрофикация и потеря самоочищающей способности водным объектом приводит к изменению структуры гидробиоценоза, токсификации воды и деградации гидроэкосистемы, поэтому сохранение самоочищающей способности внутренних вод – является глобальной проблемой мирового сообщества, связанной с обеспечением человечества качественной питьевой водой и комфортными условиями проживания [1].

Несмотря на значительный спад промышленного и сельскохозяйственного производства в России антропогенная нагрузка на поверхностные воды практически не снизилась, что связано с поступлением поллютантов в водные объекты с поверхностным стоком от источников диффузного распространения загрязняющих веществ совместно с продуктами водной эрозии, вызываемой поверхностным стоком. Поверхностный сток, поступающий в водные объекты, составляет около 52% всего их водного питания [2].

Основными компонентами стоков с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий являются соединения биогенных элементов, органические вещества различной природы и токсичные поллютанты [1-4]. Кроме того, указанные вещества поступают в водные объекты с грунтовым стоком. Суммарный грунтовый сток составляет примерно 46% всего водного питания [2]. Грунтовый сток загрязнен утечками из водопроводных и канализационных сетей, а также фильтратом, поступающим из полигонов захоронения отходов производства и потребления [3].

Длительное поступление указанных веществ в малые водотоки, отличающиеся малым стоком, недостаточной устойчивостью и значительной уязвимостью, приводит к их эвтрофикации, массовому размножению сине-зеленых водорослей (цианобактерий), нарушению в них процессов самоочищения и токсификации воды [1; 5-7].

Наряду с аллохтонными (внешними) источниками поступления органического вещества и соединений биогенных элементов в малые водотоки, важную роль в загрязнении играют вещества автохтонного происхождения – продукты жизнедеятельности гидробионтов, и их мортмасса [8-9].

Накопление в поверхностных водах соединений азота приводит к их закислению, накоплению в воде токсичных метаболитов сине-зеленых водорослей и образованию опасных для биоты и человека нитрозоаминов, относящихся к классу наиболее сильных мутагенных алкилирующих агентов [10-13]. Токсичными для гидробионтов являются также соли аммония и нитриты [13]. При окислении ионов аммония снижается содержание в воде кислорода, что

также приводит к снижению качества воды и ухудшению жизнедеятельности гидробионтов [14-16].

Цель работы – оценка уровня трофности малого водотока по гидрохимическим показателям и её самоочищающей способности по значению индекса нитрификации, а также токсичности вод реки для гидробионтов по агрегационному индексу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлась река Рпень, которая протекает по территории Суздальского района (верховья реки) и г. Владимира. Протяжённость водотока – 44 км, площадь водосбора – 273 км². Гидрографическая сеть представлена 39 притоками длиной менее 10 км и рекой Содышка (длина водотока – 22 км). Карта-схема водотока представлена на рис. 1. Река имеет высокий уровень урбанизации, в её бассейне расположено 33 населённых пункта, причём 77% территории города Владимира расположено в бассейне реки Рпень. Основные источники загрязнения – стоки с сельскохозяйственных и сельских поселений (верховья реки), и ливневые стоки с промплощадок и территории г. Владимир. Гидрологический режим водотока нарушен. В бассейне реки расположено 11 инженерных прудов. Почвы на водосборе преимущественно распаханые, обезлесены.

Отбор проб воды для анализов проводили в соответствии с ГОСТ [17]. Содержание в воде реки основных катионов и анионов определили с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-104Т»; содержание гидрокарбонат ионов – титриметрически [18]; постоянную жесткость – комплексонометрически [19]; перманганатную окисляемость – титриметрически [20]; химическое потребление кислорода – по [21] РД 52.24.421-2012.

Оценку трофности воды реки проводили согласно рекомендациям, приведённые в работе Гальцовой и Дмитриева [22], (табл. 1).

Самоочищающую способность воды оценивали по индексу нитрификации, который рассчитывается по соотношению в воде различных форм минерального азота [23] по формуле:

$$I_{\text{нитр}} = \frac{N_{\text{NO}_3^-}}{N_{\text{мин}}} \cdot 100\%,$$

где $N_{\text{NO}_3^-}$ – концентрация азота нитратного, мг/дм³;

$N_{\text{мин}} = (N_{\text{NO}_3^-} + N_{\text{NO}_2^-} + N_{\text{NH}_4^+})$, мг/дм³;

$N_{\text{NO}_2^-}$ – концентрация азота нитритов, мг/дм³;

$N_{\text{NH}_4^+}$ – концентрация аммонийного азота, мг/дм³.

Для оценки токсичности для гидробионтов соединений азота нами использован агрегационный индекс [8], рассчитываемый по соотношению концентраций различных форм азота к их ПДК в водоёмах рыбохозяйственного назначения:

$$I_{\text{агр}} = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3},$$

где C_1 , C_2 , C_3 – концентрации различных форм азота, мг/дм³;

ПДК_1 , ПДК_2 , ПДК_3 – их предельно допустимые концентрации в воде рыбохозяйственного назначения.

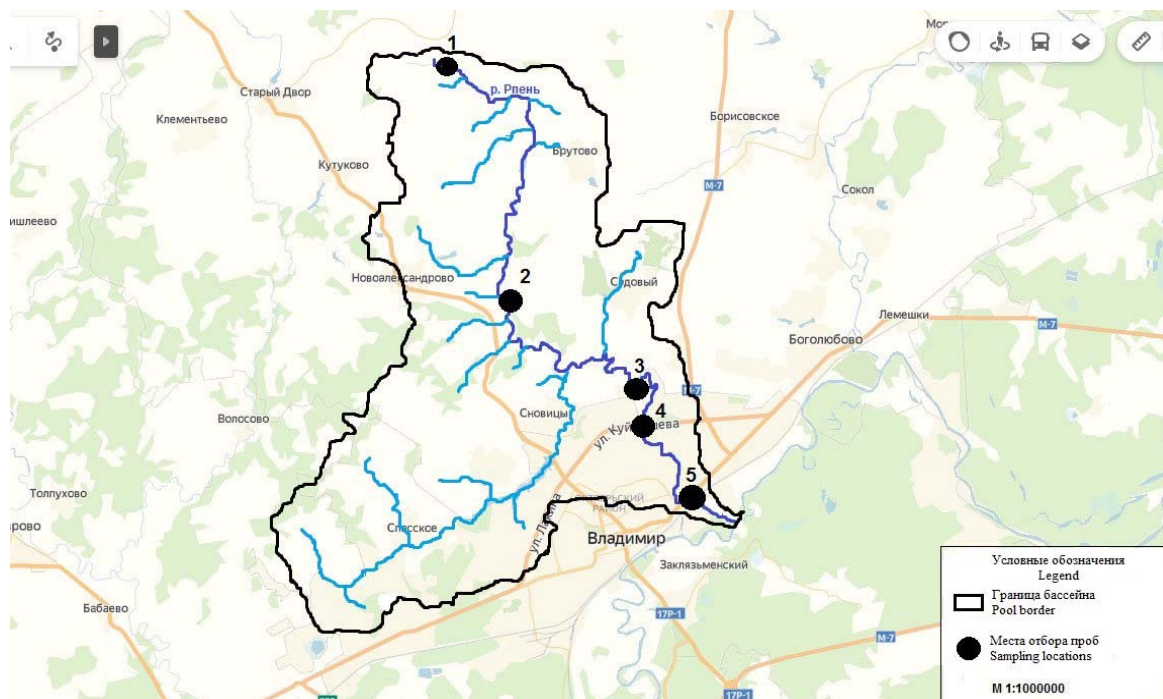


Рисунок 1. Карта-схема бассейна р. Рпень (1-5 пункты отбора проб):

1 – исток; 2 – выше устья р. Содышка; 3 – ниже устья р. Содышка; 4 – зона влияния автодороги М-7; 5 – устье

Figure 1. Map of the Rpen river basin (1-5 sampling points):

1 – source; 2 – above the mouth of the river Sodishka; 3 – below the mouth of the river Sodishka;

4 – zone of influence of the M-7 highway; 5 – estuary

Таблица 1. Критерии трофности вод по содержанию биогенных элементов

Table 1. Criteria of trophicity of waters by the content of nutrients

Критерий Criterion	Тип трофности / Type of trophy		
	Олиготрофия Oligotrophy	Мезотрофия Mesotrophy	Эвтрофия Eutrophy
$N_{амон}, мг/дм^3$ / $N_{amon}, mg/dm^3$	0,025-0,15	0,15-0,6	>0,60
$N_{нитрат}, мг/дм^3$ / $N_{nitrate}, mg/dm^3$	0,01-0,2	0,2-0,3	>0,3
$N_{нитрит}, мг/дм^3$ / $N_{nitrite}, mg/dm^3$	0,01-0,015	0,015-0,06	>0,06
Мин. форм. N, $мг/дм^3$ Min forms. N, mg/dm^3	0,05-0,35	0,35-0,95	>0,95
Мин. форм. P, $мг/дм^3$ Min forms. P, mg/dm^3	0,01-0,03	0,03-0,25	>0,25

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Места отбора проб воды для анализов указаны на рисунке 1. Анализ результатов определения содержания соединений биогенных элементов в водах реки Рпень (табл. 2) свидетельствует о значительном

росте антропогенной нагрузки на водоток от истока к устью.

По значениям постоянной и временной (гидрокарбонатной) жёсткости воды реки относятся к мягким ($J_{пост} < 4 \text{ мг*экв/дм}^3$), гидрокарбонатным (рис. 2).

Таблица 2. Концентрация основных компонентов в водах р. Рпень (июль 2018г.)

Table 2. Concentration of the main components in the waters of the river Rpen (July 2018)

Места отбора проб Sampling locations	Концентрации, мг/дм ³ Concentrations, mg/dm ³											pH
	Анионы / Anions						Катионы / Kations					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
1. Исток 1. Source	7,6	3,4	0,5	0,03	0,2	0,8	0,2	1,3	4,1	15,1	56,6	8,0
2. Выше устья р. Содышка 2. Above the mouth of the Sodishka River	31,2	27,5	3,0	0,08	0,2	0,5	0,2	2,7	8,5	10,8	45,4	7,2
3. Ниже устья р. Содышка 3. Below the mouth of the Sodishka River	17,4	19,5	1,6	0,05	0,1	0,7	0,1	2,4	5,8	12,8	48,4	7,1

4. Зона влияния автодороги М-7													
4. Influence zone of the M-7 highway	24,0	26,6	1,3	0,05	0,1	0,4	0,1	2,9	8,7	9,9	38,9	7,2	
5. Устье													
5. Estuary	84,5	33,4	4,3	0,09	0,2	0,6	1,1	3,8	36,9	12,4	49,0	7,7	

По величине pH (табл. 1), воды реки относятся к нейтральным и слабощелочным (исток).

От истока к устью концентрация нитратов в водах реки возросла в 8,6 раз, нитритов – в 3 раза, ионов аммония – в 15,5 раз, что свидетельствует о слабой самоочищающей способности водотока от аммонийного азота (слабой нитрифицирующей способности). Концентрация фосфат-ионов наибольшая в истоке (рис. 3), что связано с накоплением в этом

участке реки органического вещества в результате ежегодного отмирания многочисленных макрофитов и сине-зеленых водорослей, а также после впадения реки Содышка, испытывающей влияние двух крупных птицефабрик – источников загрязнения водотока соединениями фосфора.

Концентрации биогенных элементов в водах реки представлены в таблице 3.

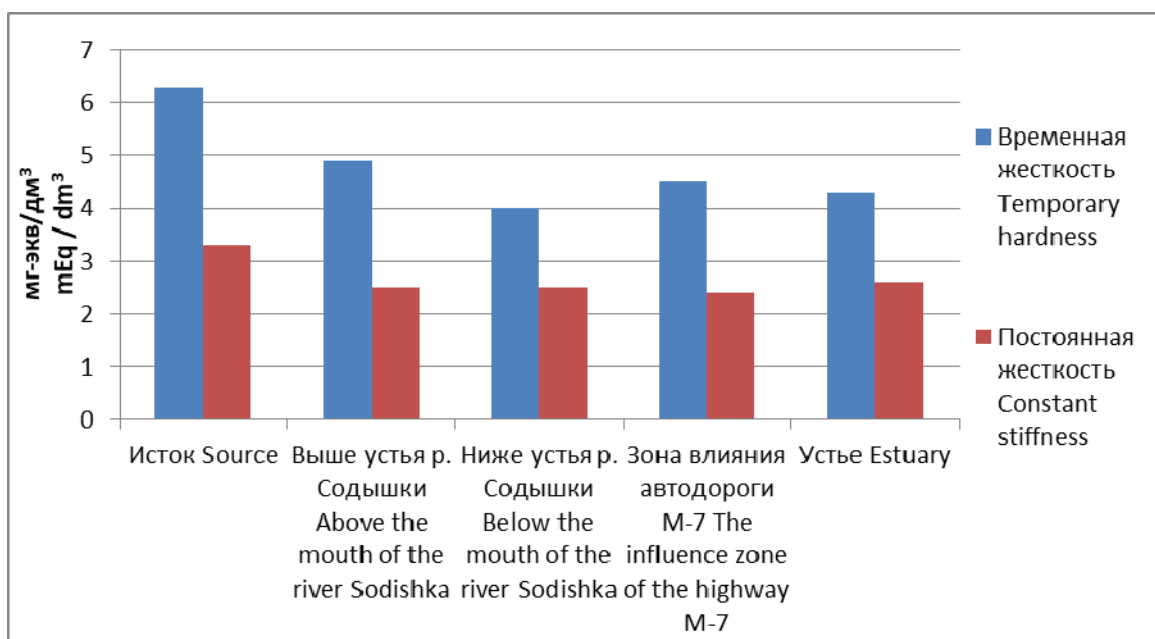


Рисунок 2. Временная и постоянная жесткость вод р. Рпень
Figure 2. Temporary and permanent water hardness of the river Rpen



Рисунок 3. Исток р. Рпень
Figure 3. Source of the Rpen River

Таблица 3. Концентрация биогенных элементов в водах реки Рпень
Table 3. Concentration of nutrients in the waters of the Rpen River

Места отбора проб Sampling locations	Концентрации, мг/дм ³ Concentrations, mg/dm ³					Соотношение N _{мин} и P _{мин} Ratio of N _{min} and P _{min}
	N _{NO3}	N _{NO2}	N _{NH4}	N _{мин} / N _{min}	P _{мин} / P _{min}	
1. Исток 1. Source	0,11	0,009	0,16	0,28	0,26	1,1
2. Выше устья р. Содышка 2. Above the mouth of the Sodishka River	0,68	0,02	0,16	0,86	0,16	5,4
3. Ниже устья р. Содышка 3. Below the mouth of the Sodishka River	0,36	0,01	0,08	0,45	0,22	2,5
4. Зона влияния автодороги М-7 4. Influence zone of the M-7 highwa	0,29	0,01	0,08	0,38	0,13	2,9
5. Устье 5. Estuary	0,97	0,03	0,86	1,86	0,19	9,8

Как следует из таблиц 2 и 3, по содержанию минерального фосфора во всех пунктах отбора проб, река эвтрофирована, а по общей концентрации минеральных форм азота водоток эвтрофирован только в устье (рис. 4), а остальные исследованные участки водотока (1-4) являются мезотрофными. По содержанию в воде нитратного азота исток реки можно отнести к олиготрофным, а участки до впадения реки Содышка и устье – к эвтрофным, а участки после впадения реки Содышка и под мостом автодороги М-7

– к мезотрофным. По концентрации азота нитритов только участки до впадения реки Содышка и устье отнесены к мезотрофным, а остальные – к олиготрофным. Исходя из полученных результатов оценки типа трофности вод реки Рпень, можно заключить, что наиболее чувствительными критериями оценки для этого водотока можно считать концентрацию минерального фосфора и сумму минеральных форм азота (N_{мин}).



Рисунок 4. Устье р. Рпень

Figure 4. The mouth of the Rpen River

Соотношение концентраций минеральных форм азота и фосфора во всех пунктах отбора проб (табл. 3) менее 10, что указывает на преобладание в фитопланктоне сине-зелёных водорослей [24]. При натурных наблюдениях за водотоком во всех пунктах отбора воды нами обнаружено массовое размножение сине-зелёные водорослей (цианобактерий) (рис. 3 и 4). В процессе жизнедеятельности и после их отмирания в воде накапливаются цианотоксины (альготоксины), а также соли аммония – потенциальные источники образования канцерогенных и мутагенных нитрозоаминов [6; 11].

В процессе самоочищения природных вод основная роль принадлежит микроорганизмам-деструкторам загрязняющих веществ различной природы и гидробионтам-фильтраторам воды [25].

Альготоксины (цианотоксины) подавляют физиологическую активность гидробионтов, участвующих в самоочищении водных экосистем, что

вызывает деградацию малых водных объектов при массовом размножении в них цианобактерий [1; 6]. Особенно чувствительны к альготоксинам микроорганизмы, участвующие в процессе нитрификации, которая протекает после завершения трансформации органических соединений. Исходя из этого, для оценки самоочищающей способности водотока мы использовали индекс нитрификации и разработали соответствующую оценочную шкалу [23].

Для оценки уровня загрязнения водотока легкоокисляемыми органическими и неорганическими веществами нами использована перманганатная окисляемость (ПО), а суммы легко- и трудноокисляемых веществ – химическое потребление кислорода (ХПК) [25].

Как следует из таблицы 4, самоочищающая способность водотока от истока до устья меняется неравномерно.

Таблица 4. Самоочищающая способность реки Пень

Table 4. Self-cleaning ability of the Rpen River

Места отбора проб Sampling locations	Индекс нитрификации, % Nitrification index, %	Способность к самоочищению Self-cleaning ability
1. Исток 1. Source	39,3	Низкая
2. Выше устья р. Содышка 2. Above the mouth of the Sodishka River	93,0	Хорошая
3. Ниже устья р. Содышка 3. Below the mouth of the Sodishka River	80,0	Средняя
4. Зона влияния автодороги М-7 4. Influence zone of the M-7 highway	76,3	Средняя
5. Устье 5. Estuary	52,0	Низкая

Наиболее низкая способность к самоочищению обнаружена в истоке, где также самое низкое соотношение $N_{мин}$ и $P_{мин}$, что указывает на интенсивное развитие в данном створе сине-зелёных водорослей [24]. Исходя из этого, подавление нитрифицирующей способности в истоке можно объяснить влиянием токсичных альготоксинов на нитрифицирующие бактерии. Подавление процесса нитрификации в устье

связано с влиянием токсичных поллютантов, поступающих в водоток с территории г. Владимир и альготоксинами.

Установлено (табл. 5), что наибольшее значение агрегационный индекс имеет в устье реки. Величина этого индекса свидетельствует о высокой токсичности воды для гидробионтов в этом участке реки.

Таблица 5. Агрегационный индекс вод реки Пень

Table 5. Rpen River Aggregation Index

Места отбора проб Sampling locations	$I_{арр}$ I_{agr}
1. Исток 1. Source	0,355
2. Выше устья р. Содышка 2. Above the mouth of the river Sodishka River	0,462
3. Ниже устья р. Содышка 3. Below the mouth of the river Sodishka River	0,299
4. Зона влияния автодороги М-7 4. Influence zone of the M-7 highwa	0,294
5. Устье 5. Estuary	2,363

Выявлена тенденция значительного роста уровня загрязнения водотока от истока к устью как легко- так и трудноокисляемыми веществами (рис. 5), что свидетельствует об увеличении вклада в загрязнение

реки стоков с селитебных территорий, особенно г. Владимир. В составе органического вещества водотока преобладают трудноокисляемые органические соединения.

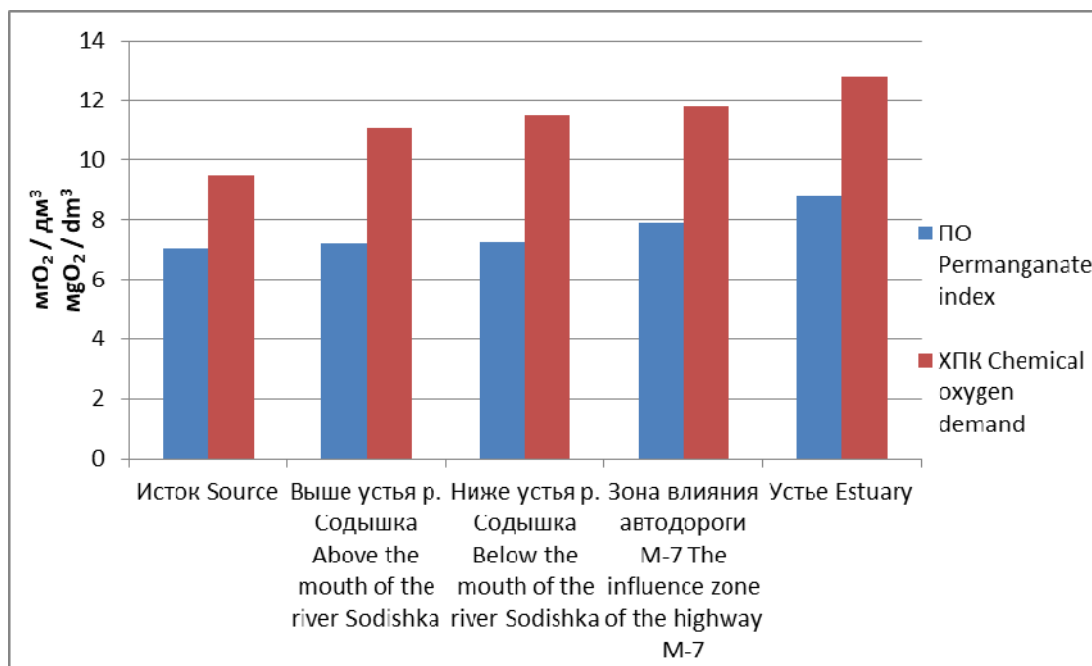


Рисунок 5. Перманганатная окисляемость и химическое потребление кислорода вод реки Рпень

Figure 5. Permanganate oxidizability and chemical oxygen demand of the Rpen River waters

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уровень загрязнения вод реки Рпень биогенными элементами и органическим веществом возрастает от истока к устью, что связано, главным образом, с их поступлением со стоками с сельхозугодий и сельских поселений, а также территории города Владимир. В составе органического вещества преобладают трудноокисляемые соединения.

Показано, что наиболее чувствительным критерием для оценки уровня трофности вод реки является концентрация минеральных форм фосфора. Во всех исследованных участках водоток по концентрации минерального фосфора эвтрофирован. В фитопланктоне преобладают сине-зелёные водоросли, что является источником загрязнения воды токсичными альготоксинами (цианотоксинами), подавляющими жизнедеятельность гидробионтов и микробиоценоза, участвующих в самоочищении водотока.

Водоток в среднем течении обладает хорошей и средней нитрифицирующей и самоочищающей способностью, а в истоке и устье – низкой, что связано с влиянием на нитрифицирующие бактерии цианотоксинов. По величине агрегационного индекса установлено, что наиболее токсичной для гидробионтов является вода в устье реки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zaccaroni A. Toxicity of fresh water algal toxins to humans and animals // *Algal toxins: nature, occurrence, effect and detection*. Dordrecht: Springer, 2008 P. 45-89.
2. Сметанин В. И. Восстановление и очистка водных объектов. М.: КолосС, 2003. 157 с.
3. Янин Е.П. Источники и пути поступления загрязняющих веществ в реки промышленно-урбанизированных территорий // *Научные и*

технические аспекты охраны окружающей среды. 2002. N 6. С. 2-56.

4. Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Вишневская И.А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. N 2. С. 232-244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244

5. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.

6. Анциферова Г.А., Кульнев В.В., Шевырев С.Л., Беспалова Е.В., Русова Н.И. Искусственные водные объекты бассейна реки Воронеж и альгобиотехнология в управлении качеством вод // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22. N 8. С. 50-54. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-8-50-54

7. Трифонова Т.А., Сенатов А.С. Оценка предельно-допустимой техногенной нагрузки на водотоки малого речного бассейна // *Геоэкология*. 2008. N 4. С. 322-330.

8. Асхабова Х.Н., Оздыханов М.С., Сапаев Х.Х. Экологическая оценка загрязнения реки Терек на территории Чеченской Республики // *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13. N 1. С. 212-220. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-212-220

9. Кривицкий С.В. Гидроэкология: улучшение качества воды в водоеме // *Экология и промышленность России*. 2007. N 7. С. 18-21.

10. Моисеенко Т.И. Закисление вод. Факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2003. 276 с.

11. Рубенчик Б.Л. Образование канцерогенов из соединений азота. Киев: Наукова думка, 1990. 221 с.

12. Winston G.W., Traynor C.A., Shane B.S., Hajos A.K.D. Modulation of the mutagenicity of three dinitropyrene isomers in vitro by rat-liver S9, cytosolic, and microsomal

- fractions following chronic ethanol ingestion // *Mutation Research*. 1992. V. 279. P. 289-298.
13. Сиренко Л.А., Казицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наукова думка. 1988. 256 с.
 14. Моисеенко Т.И. Экоотоксикологический подход к оценке качества вод // *Водные ресурсы*. 2005. Т. 32. N 2. С. 184-195.
 15. Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2000. Т. 2. N 2. С. 233-243.
 16. Бубенов Р.Н., Борисенко В.И., Даниленко А.А., Бубенова Л.А. О некоторых аспектах оценки негативного антропогенного воздействия на качество поверхностных водных объектов в системе обеспечения экологической безопасности // *Юг России: экология, развитие*. 2018. Т. 13. N 4 (49). С. 147-156. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-147-156
 17. ГОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2020. 32 с.
 18. ГОСТ 23268.3-78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения гидрокарбонат-ионов. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1978. 4 с.
 19. ПНД Ф 14.1:2.3.98-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений общей жесткости в пробах природных и сточных вод титриметрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по экологии, 1997. 25 с.
 20. ПНД Ф 14.1:2.4.154-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1999. 11 с.
 21. РД 52.24.421-2012 Химическое потребление кислорода в водах. Методика измерений титриметрическим методом. Ростов на Дону: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2012. 18 с.
 22. Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных экосистем. СПб.: Санкт-Петербургская типография "Наука", 2007. 364 с.
 23. Злывко А.С., Чеснокова С.М., Бородин И.А. Антропогенная трансформация и самоочищающая способность малой реки // *Теоретическая и прикладная экология*. 2012. N 3. С. 44-49.
 24. Булгаков Н.Г., Левич А.П. Биогенные элементы в среде и фитопланктон: соотношение азота и фосфора как самостоятельный фактор регулирования структуры альгоценоза // *Успехи современной биологии*. 1995. Т. 15. N 1. С. 13-23.
 25. Алимов А.В. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
 2. Smetanin V. I. *Vosstanovlenie i ochistka vodnykh ob'ektov* [Restoration and purification of water bodies]. Moscow, Kolos Publ., 2003, 157 p. (In Russian)
 3. Yanin E.P. Sources and routes of pollutants entering rivers of industrialized urban areas. *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchei sredy* [Scientific and technical aspects of environmental protection]. 2002, no. 6, pp. 2-56. (In Russian)
 4. Yasinskii S.V., Venitsianov E.V., Vishnevskaya I.A. Diffuse pollution of waterbodies and assessment of nutrient removal under different land-use scenarios in a catchment area. *Water Resources*, 2019, no. 2, pp. 232-244. (In Russian) DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244
 5. Datsenko Yu.S. *Evtrofirovaniye vodokhranilishch. Gidrologo-gidrokhimicheskie aspekty* [Eutrophication of reservoirs. Hydrological and hydrochemical aspects]. Moscow, GEOS Publ., 2007, 252 p. (In Russian)
 6. Antsiferova G.A., Kul'nev V.V., Shevyrev S.L., Bepalova E.V., Rusova N.I. Artificial water bodies of the Voronezh River basin and algae biotechnology in water quality management. *Ecology and Industry of Russia*, 2018, vol. 22, no. 8, pp. 50-54. (In Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2018-8-50-54
 7. Trifonova T.A., Senatov A.S. Assessment of the maximum permissible technogenic load on the watercourses of a small river basin. *Geoekologiya* [Geoecology]. 2008, no. 4, pp. 322-330. (In Russian)
 8. Askhabova Kh.N., Ozdykhanov M.S., Sapaev Kh.Kh. Environmental assessment of contamination of the Terek River in the territory of the Chechen Republic. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 212-220. (In Russian). DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-212-220
 9. Krivitskii S.V. Hydroecology: improving water quality in a water. *Ekologiya i promyshlennost'* [Ecology and Industry of Russia]. 2007, no. 7, pp. 18-21. (In Russian)
 10. Moiseenko T.I. *Zakislennie vod. Faktory, mekhanizmy i ekologicheskie posledstviya* [Acidification of water. Factors, mechanisms and environmental impacts]. Moscow, Nauka Publ., 2003, 276 p. (In Russian)
 11. Rubenchik B.L. *Obrazovanie kantserogenov iz soedinenii azota* [Formation of carcinogens from nitrogen compounds]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1990, 221 p. (In Russian)
 12. Winston, G.W., Traynor, C.A., Shane, B.S., Hajos, A.K.D. Modulation of the mutagenicity of three dinitropyrene isomers in vitro by rat-liver S9, cytosolic, and microsomal fractions following chronic ethanol ingestion. *Mutation Research*, 1992, vol. 279, pp. 289-298.
 13. Sirenko L.A., Kazitskaya V.N. *Biologicheski aktivnye veshchestva vodoroslei i kachestvo vody* [Biologically active substances of algae and water quality]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988, 256 p. (In Russian)
 14. Moiseenko T.I. Ecotoxicological approach to water quality assessment. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2005, vol. 32, no. 2, pp. 184-195. (In Russian)
 15. Zinchenko T.D., Vykhristyuk L.A., Shitikov V.K. Methodological approach to ecological condition assessment of river system for hydrochemical and hydrobiological indexes. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2000, vol. 2, no. 2, pp. 233-243. (In Russian)
 16. Bubenov R.N., Borisenko V.I., Danilenko A.A., Bubenova L.A. On some aspects of the assessment of negative

REFERENCES

1. Zaccaroni A. Toxicity of fresh water algal toxins to humans and animals. *Algal toxins: nature, occurrence, effect and detection*. Dordrecht, Springer, 2008, pp. 45-89.

anthropogenic impact on the quality of surface water bodies in the environmental safety ensuring system. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 147-156. (In Russian). DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-147-156

17. *GOST R 59024-2020 Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [GOST R 59024-2020 Water. General requirements for sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2020, 32 p. (In Russian)

18. *GOST 23268.3-78 Vody mineral'nye pit'evye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye. Metody opredeleniya gidrokarbonat-ionov* [GOST 23268.3-78 Mineral waters for drinking, medicinal, medicinal-table and natural table. Methods for the determination of hydrocarbonate ions]. Moscow, USSR State Committee for Standards Publ., 1978, 4 p. (In Russian)

19. *PND F 14.1:2:3.98-97. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika izmerenii obshchei zhestkosti v probakh prirodnkh i stochnykh vod titrimetricheskimi metodami* [PND F 14.1: 2: 3.98-97. Quantitative chemical analysis of waters. Methods for measuring total hardness in natural and wastewater samples by titrimetric method]. Moscow, State Committee of the Russian Federation for Ecology Publ., 1997, 25 p. (In Russian)

20. *PND F 14.1:2:4.154-99. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenii permanganatnoi okislyaemosti v probakh pit'evykh, prirodnkh i stochnykh vod titrimetricheskimi metodami* [PND F 14.1: 2: 4.154-99. Quantitative chemical analysis of waters. Methods for performing measurements of

permanganate oxidizability in samples of drinking, natural and wastewaters by the titrimetric method]. Moscow, State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection Publ., 1999.11 p. (In Russian)

21. *RD 52.24.421-2012 Khimicheskoe potreblenie kisloroda v vodakh. Metodika izmerenii titrimetricheskimi metodami* [RD 52.24.421-2012 Chemical oxygen demand in waters. Titrimetric measurement technique]. Rostov-on-Don, Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) Publ., 2012.18 p. (In Russian)

22. Gal'tsova V.V., Dmitriev V.V. *Praktikum po vodnoi ekologii i monitoringu sostoyaniya vodnykh ekosistem* [Workshop on aquatic ecology and monitoring the status of aquatic ecosystems]. St. Petersburg, "Nauka" Publ., 2007, 364 p. (In Russian)

23. Zlyvko A.S., Chesnokova S.M., Borodina I.A. Anthropogenic transformation and self-cleaning ability of a small river. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology]. 2012, no. 3, pp. 44-49. (In Russian)

24. Bulgakov N.G., Levich A.P. Biogenic elements in the environment and phytoplankton: the ratio of nitrogen and phosphorus as an independent factor in regulating the structure of algocenosis. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Advances in Modern Biology]. 1995, vol. 15, no. 1, pp. 13-23. (In Russian)

25. Alimov A.V. *Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem* [Elements of the theory of the functioning of aquatic ecosystems]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2000, 147 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Олег В. Савельев производил отбор проб, проводил анализы. Татьяна А. Трифонова проанализировала данные. Светлана М. Чеснокова написала рукопись и несет ответственность за плагиат, самоплагиат или другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Oleg V. Savelev took samples and carried out analyses. Tatiana A. Trifonova analysed the data. Svetlana M. Chesnokova wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Татьяна А. Трифонова / Tatiana A. Trifonova <https://orcid.org/0000-0002-1628-9430>

Светлана М. Чеснокова / Svetlana M. Chesnokova <https://orcid.org/0000-0001-5126-1786>

Олег В. Савельев / Oleg V. Savelev <https://orcid.org/0000-0002-3425-8021>