



Издатель

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

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 4 (58). Декабрь, 2025

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
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
В. Krasnov
А. Gugołek
В. Н. Якимов
А. В. Сони́на

Службы поддержки

Н. А. Марфицина
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>



© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»



УДК 574.587

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПРИТОКОВ РЕКИ СУХОНЫ (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

ИВИЧЕВА
Ксения Николаевна

кандидат биологических наук, Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 26, ivicheva@niorh.vniro.ru

ФИЛОНЕНКО
Игорь Владимирович

кандидат биологических наук, Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО, г. Вологда, ул. Левичева, д. 5, filonenko@vologod.vniro.ru

КОМАРОВА
Александра Сергеевна

кандидат биологических наук, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук; Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, 109, komarowa.aleks@yandex.ru

Ключевые слова:
зообентос
биоиндикация
качество вод
малые реки
Вологодская область

Аннотация: В летний период 2016–2018 гг. проведены гидробиологические исследования 40 притоков р. Сухоны (бассейн Белого моря). На основании количественных и качественных данных зообентоса осуществлена оценка экологического состояния рек. По показателям зообентоса к группе наиболее чистых относятся реки с высокой скоростью течения; наиболее загрязненных – реки, протекающие вблизи населенных пунктов, а также по заболоченным территориям. Показан вклад гидрологических характеристик водосбора в формирование качества вод. Полученные индексы в ряде случаев демонстрируют противоречивые результаты. Значение индексов EPT, ASPT, BMWP, OQR могут снижаться в водотоках, имеющих маленькие размеры. На значение индекса Гуднайта – Уитли могут влиять болота, расположенные на водосборе. Показано, что фоновые значения индекса сапробности для водотоков таежной зоны находятся в диапазоне 1.5–2.5. Индексы видового разнообразия и сапробности следует рассматривать в сравнительном ключе.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Д. М. Безматерных

Получена: 17 ноября 2025 года

Подписана к печати: 25 декабря 2025 года

Введение

Представители зообентоса считаются одним из лучших объектов для биоиндикации пресноводных экосистем. Длительные жизненные циклы и оседлость организмов зообентоса позволяют оценивать качество вод по структуре сообществ донных организмов. К настоящему времени сделан ряд обзоров методов биоиндикации пресных вод (Баканов, 2000; Шуйский и др., 2002; Семенченко, 2004; Шитиков и др., 2005; Безматерных, 2007 и пр.), проводимых на разных уровнях:

от обилия крупных таксонов до видовой идентификации организмов. В то же время система биоиндикации водных объектов имеет ряд ограничений. Во-первых, эти методы плохо работают в экстремальных климатических условиях (например, на Крайнем Севере, в аридных районах, в высокогорных водных объектах). Во-вторых, при выборе разных методов биоиндикации необходимо анализировать, вызвано ли конкретное низкое качество вод антропогенной нагрузкой или же оно объясняется гидрологическими характеристиками водотока (Гончаров и др.,

2025). В-третьих, чем меньше водный объект, тем быстрее его обитатели реагируют на антропогенную нагрузку.

Методы биоиндикации наиболее хорошо работают на реках, расположенных на территории крупных городов (Безматерных, 2018; Лобуничева и др., 2023; Петров, Якушева, 2022; Ивичева и др., 2024). В большинстве случаев речь идет о комплексной антропогенной нагрузке, однако есть примеры, когда экологическая оценка проводится при конкретном типе или источнике загрязнения (Яныгина, Евсеева, 2022; Холмогорова, 2024). По некоторым данным (Яныгина, 2023), лучшим периодом для отбора проб зообентоса является период перед вскрытием льда. Также есть мнение, что оптимальным периодом для отбора проб макробеспозвоночных является период наибольшего развития высшей водной растительности (Ивичева и др., 2024; Гончаров и др., 2025).

Цель данной работы заключалась в оценке экологического состояния притоков р. Сухоны по макрозообентосу с применением разных индексов и выбор наиболее подходящих.

Материалы

Река Сухона является крупнейшей на территории Вологодской области, водосбор ее составляет около трети от площади региона. Длина реки составляет 558 км. Площадь водосбора 50300 км² (Болотова и др., 2007), относится к бассейну Белого моря. Река имеет 70 притоков I порядка. На своем протяжении бассейн р. Сухоны охватывает 13 ландшафтных районов, принадлежащих к Сухона-Двинской физико-географической области Восточно-Европейской равнины (Максутова, Воробьев, 2007): Кубеноозерский, Прикубенский, Харовский, Кулойский, Нижнесухонский, Устьянский, Мало-Двинский, Вологодско-Грязовецкий, Верхнесухонский, Авнигский, Галичский, Кичменгский, Среднеюгский. В настоящей работе исследованы притоки р. Сухоны I–IV порядков разной протяженности. Территория Вологодской области расположена в таежной зоне, на стыке южной и средней ее подзон. Рассматриваются реки, расположенные в обеих подзонах тайги. Территория Европейского Севера характеризуется умеренным уровнем антропогенной нагрузки, носящей, как правило, локальный характер, проявляющийся в виде сбросов отдельных предприятий. Большая часть водосборов исследованных рек покрыта лесом, высокую долю составляют

болота (Филоненко, Филиппов, 2013). Ряд исследованных рек протекает вблизи крупных населенных пунктов: городов Вологда и Тотьма, поселка Юбилейный, сел Шуйское и Нюксеница.

Методы

Отбор проб зообентоса проводили на 40 реках, являющихся притоками разного порядка р. Сухоны (рис. 1), в июле – сентябре 2016–2018 гг. Число отобранных проб на реке колебалось от 4 до 13 и зависело от разнообразия биотопов на модельном участке. Количество проб и характеристики водных объектов приведены в табл. 1. Для отбора проб использовали штанговый дночерпатель ГР-91 (площадь захвата 0.07 м²), каждая проба состояла из трех повторностей. Помимо этого, проводили смывы с камней. Пробы промывали через сито с ячейей 250 мкм и фиксировали 4%-ным раствором формалина. Камеральную обработку проб и видовую идентификацию извлеченных особей проводили в лабораторных условиях.

Для оценки качества вод использовали следующие индексы: EPT-индекс, Biological Monitoring Working Party Index (BMWP), Average Score per Taxon (ASPT), Overall Quality Rating (OQR) (Поздеев, Аристова, 2023), индекс Гуднайта – Уитли, доминирования (D) (обратное значение индекса Симпсона), Шеннона (H), Маргалефа (M) (расчет выполнен в программе Past V4.03), сапробности. Расчет последних трех индексов выполняли на основании численности видов. Для определения сапробности использовали индекс Пантле – Букка в модификации Сладечека (Sládeček, 1973). Для определения индикаторного значения отдельных видов макробеспозвоночных ориентировались на работы (Sládeček, 1973; Wegl, 1983; Щербина, 2010). При построении карты в качестве слоя болот использованы данные (Филоненко, Филиппов, 2013). Корреляционный анализ и анализ избыточности (RDA) выполнены в среде R. Корреляционный анализ проводили методом Пирсона. Использованы пакеты: vegan, Hmisc, GGally, RVAideMemoire. Структурирования станций сбора зообентоса в RDA проверяли по принадлежности к ландшафтному району, типу субстрата, порядку притока и уровню освоенности водосбора водотока. Уровень освоенности ранжировали по наличию населенных пунктов – сильная (наличие городов и сел), умеренная (небольшие деревни) и слабая (отсутствие населенных пунктов или единичные нежилые строения).

Таблица 1. Сроки, количество отобранных проб и характеристики станций

№	Река	Порядок притока	L, км	Ландшафт	Степень освоенности водосбора	B, м	h, м	V, м/с	Грунт	N
1	Лоста	II	38	Верхнесухонский	сильная	4	0.8	0.01	ил, детрит	6
2	Комья	IV	39	Верхнесухонский	сильная	7	0.5	0.01	песок, детрит	7
3	Лухта	III	31	Верхнесухонский	сильная	5	0.5	0.01	песок, детрит	7
4	Лежа	I	178	Верхнесухонский	сильная	20	1.8	0.2	глина	4
5	Великая	II	47	Верхнесухонский	умеренная	15	0.5	0.1	песок, ил, галька	4
6	Черный Шингарь	II	21	Верхнесухонский	умеренная	5.5	1.5	0.08	песок, глина, ил	4
7	Белый Шингарь	II	19	Авнига	сильная	3	0.3	0.3	песок	8
8	Тиновка	IV	21	Авнига	умеренная	4	1.5	0.01	глина, ил	4
9	Шуя	I	54	Верхнесухонский	умеренная	3	1	0.19	песок, глина	4
10	Везгуниха	I	3	Верхнесухонский	умеренная	3	1	0.1	песок, глина	4
11	Стрелица	I	57	Верхнесухонский	умеренная	4	0.4	0.45	песок, камни	4
12	Турица	I	15	Харовский	умеренная	1–1.5	0.3–0.5	0.17	песок, камни, детрит	4
13	Шонтас	I	36	Харовский	умеренная	5	0.7–1	0.11	песок, ил	4
14	Тиксна	II	51	Харовский	сильная	20	2	0.63	песок, камни	4
15	Вопра	III	29	Харовский	умеренная	3	1	0.25	ил, песок	4
16	Толокнянка	IV	6	Харовский	умеренная	1.5–2	0.3–0.6	0.1	песок, камни	4
17	Обрубновка	IV	6	Харовский	умеренная	2–2.5	0.5	0.05	песчаный	4
18	Великовка	IV	4	Кулойский	умеренная	1.5	0.5	0.21	песок, камни	4
19	Царева	I	46	Кулойский	сильная	25	1.5	0.25	песок, ил	4
20	Кобаньга	II	62	Кулойский	сильная	5	1	0.79	песок, камни	4
21	Песья Деньга	I	26	Кулойский	сильная	7	1	0.47	песок, камни	4
22	Ковда	II	15	Кулойский	сильная	4.5	0.8	0.08	песок, камни	4
23	Еденьга	I	93	Кулойский	сильная	20	1–1.5	0.29	песок, камни	4
24	Малая Нореньга	I	30	Кулойский	умеренная	2–4	0.1–0.5	0.25	песок, камни	4
25	Пельшма	I	82	Кулойский	умеренная	6–8	0.4–1	0.3	песок, камни	4
26	Кирженьга	I	33	Кулойский	умеренная	5–7	0.5	0.3	песок	4
27	Коченьга	I	42	Кулойский	умеренная	12–15	0.5–0.8	0.18	плотный стланец, песок	4
28	Сивеж	II	10	Кулойский	умеренная	4–6	1–1.2	0.05	песок	4
29	Саковез	III	7	Кулойский	умеренная	0.4–0.7	0.2–0.4	0.05	песок	4
30	Саланга	I	40	Кулойский	умеренная	5–8	0.7–1	0.06	песок, камни	4
31	Уфтюга	I	117	Нижнесухонский	сильная	20–30	1–1.5	0.09	песок, камни	6
32	Кичуга	I	10	Нижнесухонский	слабая	10	2	0.01	песок	4
33	Малая Сельменьга	I	11	Нижнесухонский	слабая	5	0.1–0.5	0.21	песок, мелкие камни, валуны	4

Таблица 1. Продолжение

№ Река	Порядок притока	L, км	Ландшафт	Степень освоенности водосбора	V, м	h, м	V, м/с	Грунт	N	
34	Левая Кичуга	I	10	Нижнесухонский	слабая	0.5–1	0.5	0.01	ил, песок, глина	4
35	Малая Бобровка	I	14	Нижнесухонский	слабая	2–3	0.7–1	0.01	глина, песок	4
36	Кобыла	I	7	Нижнесухонский	слабая	0.1–0.3	0.1–0.15	0.2	ил, глина	4
37	Левая Сученьга	I	28	Нижнесухонский	слабая	4–6	0.3–0.5	0.25	песок, камни	4
38	Верхняя Ерга	I	140	Нижнесухонский	слабая	20	0.5–1	0.45	песок, камни	13
39	Барачиха	II	12	Нижнесухонский	слабая	1.5	1–1.5	0.17	песок, камни	3
40	Нижняя Ерга	I	135	Устьянский	слабая	20	2.5	0.1	песок, камни	2

Примечание. L – длина водотока, км; V – ширина водотока, м; h – глубина водотока, м; V – скорость течения, м/с; N – число проб.

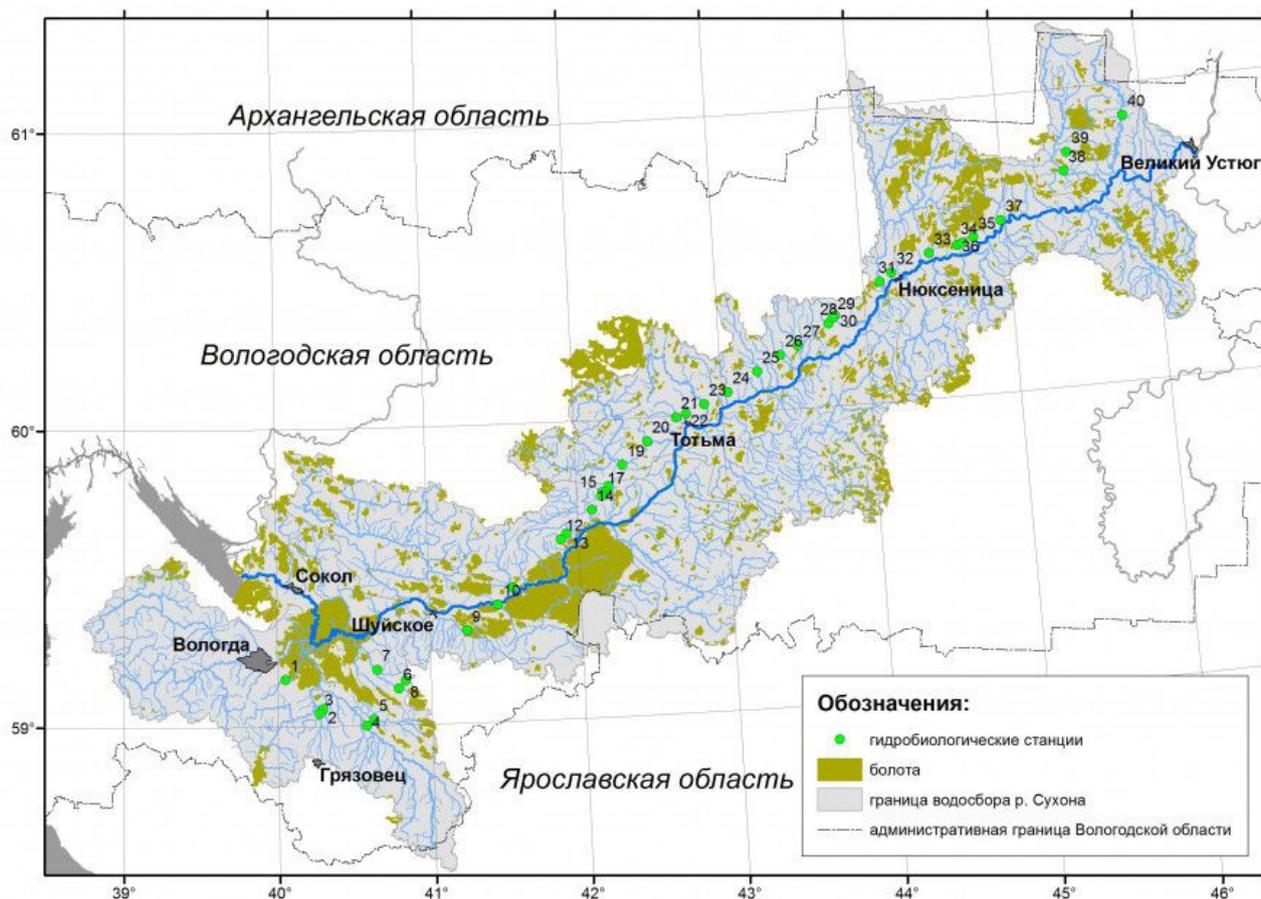


Рис. 1. Схема отбора проб в бассейне р. Сухоны (нумерация реки соответствует таковой в табл. 1–3)
Fig. 1. Sampling scheme in the Sukhona River basin (the river numbering corresponds to that in Tables 1–3)

Результаты

Всего в изученных притоках реки Сухоны отмечено 172 вида и таксона более высокого ранга водных макробеспозвоночных. Наибольшее число видов отмечено в реках Верхняя Ерга (84), Уфтюга (59), Белый Шингарь (45) (табл. 2). Данные водотоки характеризуются высокой скоростью течения и наличием большого числа биотопов на участках, где проводился отбор проб. Наименьшее число видов отмечено в малых реках (Барачиха, Левая Кичуга, Малая Бобровка, Кобыла, Кичуга, Великовка, Обрубновка, Сивеж) и реках со значительной антропогенной нагрузкой (Лоста). В этих же водотоках зафиксировано наименьшее число представителей таких отрядов насекомых, как поденки (Ephemeroptera), веснянки (Plecoptera), ручейники (Trichoptera). В реках Верхняя Ерга и Уфтюга отмечено наибольшее число видов ЕРТ, где они составляют чуть более трети от всего видового списка. Вместе с тем в реках Кобаньга и Левая Сученьга виды ЕРТ составляют практически половину от всего видового списка. Таксоны ЕРТ имеют высокий «вес» при расчете индекса BMWP, рассчитанного на его основе индекса ASPT и объединяющего оба индекса OQR. Соответственно, наилучшее качество вод и грунтов (очень чистые) отмечено в реках, где наблюдается наибольшая доля этих таксонов в общем числе видов (Верхняя Ерга, Уфтюга, Кобаньга). Наихудшее качество вод (очень грязные) отмечено в р. Барачиха, где наблюдается наименьшее из всех водотоков число видов. Также низкое качество вод (грязные) отмечено в реках, протекающих вблизи населенных пунктов (Лоста вблизи г. Вологды, Обрубновка и Великовка вблизи пос. Юбилейный, Кичуга вблизи с. Нюксеница), и в реках с малой длиной и протекающих по заболоченным территориям (Тиновка, Сивеж, Левая Кичуга, Малая Бобровка, Кобыла).

При оценке исследованных рек по индексу Гуднайта – Уитли (см. табл. 2) к категории грязных можно отнести только реки Барачиха и Саковез. В категорию «загрязненных» также попали реки Везгуниха, Шонтас, Обрубновка. Большинство исследованных рек относятся к категории «чистые».

Наибольшее значение индекса Шеннона отмечено для рек Уфтюга, Малая Сельменьга, Верхняя Ерга, а индекса Менхиника – Верхняя Ерга и Уфтюга. Наименьшее значение данных индексов отмечено для р. Барачиха. Все исследованные водотоки отно-

сятся к α - и β -мезосапробным. В р. Саковез значение индекса сапробности было близко к полисапробной зоне. В р. Коченьга – к олигосапробной.

Индексы, основанные на наличии или отсутствии крупных таксонов (BMWP, ASPT, OQR) и индекс Гуднайта – Уитли для ряда рек показали противоречивые результаты. Все реки, которые попали в категорию «чистые» по индексу OQR, также характеризуются как чистые по индексу Гуднайта – Уитли. В то же время реки, характеризующиеся как «грязные» по индексу OQR, могут характеризоваться как «чистые» по индексу Гуднайта – Уитли (например, реки Малая Бобровка, Кобыла, Кичуга, Сивеж, Великовка, Лоста). Все эти реки имеют длину не более 15 км, протекают по болотам (см. рис. 1), вследствие чего в них отмечено низкое видовое богатство. При этом реки Кичуга и Лоста протекают вблизи населенных пунктов (г. Вологда и с. Нюксеница соответственно), и низкое качество вод по индексу OQR в них мы можем связать с антропогенной нагрузкой. В то же время вблизи других малых рек (Малая Бобровка, Кобыла, Сивеж) населенные пункты вообще отсутствуют. Низкое значение индексов BMWP, ASPT, OQR в них объясняется скорее малыми размерами, отбором проб вблизи истоков, малым числом биотопов. Для р. Нижняя Ерга низкое качество вод по индексу OQR связано скорее с малым количеством проб на участке исследования, и в данном случае мы склонны верить результатам индекса Гуднайта – Уитли.

Выявлена значимая положительная корреляционная связь между индексами ЕРТ, BMWP, ASPT, OQR, взаимосвязанными как между собой, так и с индексом Менхиника (M) (рис. 2). В основе расчета данных индексов используется показатель видового богатства, что может определять высокую степень корреляции вышеперечисленных индексов. Кроме того, отмечена положительная значимая корреляция между индексами Гуднайта – Уитли (Г–У), сапробности (S) и индексом доминирования (D). В расчет индексов Гуднайта – Уитли и сапробности определяющее значение в наших исследованиях вносит численность олигохет-тубифицид (*Limnodrilus hoffmeisteri* и *Tubifex tubifex*). В то же время при расчете индексов BMWP, ASPT данная группа практически не играет роли.

Гидрологические характеристики водотока (длина, ширина и скорость течения) демонстрируют достоверную корреляционную

Таблица 2. Качество вод притоков р. Сухоны

№	N	EPT	BMWP	ASPT	OQR	Качество*	Г-У	Качество**	D	H	M	S	Зона***
1	17	2	26	3.3	2.0	г.	27.7	ч.	0.17	2.06	2.73	2.68	α
2	37	12	66	4.4	3.5	з.	4.1	оч. ч.	0.28	2.07	5.04	2.48	β
3	32	5	94	5.2	5.0	ч.	27.5	ч.	0.11	0.61	5.73	2.75	α
4	29	9	81	4.8	4.0	ум. з.	12.6	оч. ч.	0.08	2.92	6.15	2.51	α
5	41	9	107	4.9	4.5	ум. з.	10.7	оч. ч.	0.19	2.48	6.7	2.45	β
6	30	7	105	4.7	4.5	ум. з.	12.6	оч. ч.	0.34	1.85	4.54	2.77	α
7	45	12	120	5.2	5.0	ч.	7.3	оч. ч.	0.23	2.24	5.98	2.39	β
8	20	0	24	3.0	2.0	г.	56.3	з.	0.6	1.63	3.41	2.97	α
9	36	5	95	5.3	5.0	ч.	29.2	ч.	0.1	2.76	6.24	2.41	β
10	21	2	51	3.9	3.0	з.	70.1	з.	0.41	1.58	3.59	3.11	α
11	21	4	39	4.3	3.0	з.	10.6	оч. ч.	0.18	2.23	4.1	2.33	β
12	25	4	63	4.9	4.0	ум. з.	31.9	ум. з.	0.14	2.36	4.85	2.77	α
13	25	5	71	5.1	4.5	ум. з.	55.7	з.	0.28	1.85	4.21	3.27	α
14	29	10	64	5.8	5.0	ч.	16.4	оч. ч.	0.08	2.81	5.38	2.31	β
15	21	3	50	5.5	4.5	ум. з.	19.5	оч. ч.	0.18	2.27	4.6	2.71	α
16	23	4	36	4.5	3.0	з.	37.2	ум. з.	0.14	2.44	4.19	2.86	α
17	15	3	28	4.0	2.5	г.	54.2	з.	0.15	2.34	3.43	2.7	α
18	10	3	25	4.4	2.5	г.	22.2	ч.	0.16	2.07	2.36	2.69	α
19	28	6	64	4.9	4.0	ум. з.	11.7	оч. ч.	0.15	2.47	5.21	2.14	β
20	29	14	105	6.6	6.0	оч. ч.	9.2	оч. ч.	0.1	2.72	6.06	2.37	β
21	30	11	79	4.6	4.0	ум. з.	1.5	оч. ч.	0.08	2.88	5.89	2.21	β
22	24	8	58	5.3	4.0	ум. з.	9.9	оч. ч.	0.12	2.52	4.52	2.34	β
23	35	11	98	5.4	5.0	ч.	25.9	ч.	0.14	2.49	5.85	2.62	α
24	23	3	52	4.7	3.5	з.	26.7	ч.	0.18	2.21	4.53	2.73	α
25	26	6	74	4.9	4.0	ум. з.	2.3	оч. ч.	0.16	2.41	5.13	2.1	β
26	33	7	59	4.5	3.0	з.	23.3	ч.	0.16	2.38	5.32	2.55	α
27	26	10	79	5.3	4.5	ум. з.	0.5	оч. ч.	0.12	2.5	4.69	1.55	β
28	16	2	28	4.0	2.5	г.	11.8	оч. ч.	0.35	1.66	2.92	2.71	α
29	23	4	52	4.0	3.0	з.	75.2	г.	0.56	1.24	3.83	3.35	α
30	25	7	86	5.4	4.5	ум. з.	32.6	ч.	0.08	2.8	5.39	2.53	α
31	59	20	145	5.8	6.0	оч. ч.	10.6	оч. ч.	0.07	3.18	8.76	2.1	β
32	16	1	18	3.6	2.5	г.	26.1	ч.	0.12	2.41	3.92	2.47	β
33	29	8	63	5.3	4.5	ум. з.	12.1	оч. ч.	0.07	3.01	6.51	2.19	β
34	10	1	16	3.2	2.0	г.	43.3	ум. з.	0.25	1.74	2.65	2.79	α
35	12	0	15	3.0	2.0	г.	11.1	оч. ч.	0.19	1.98	2.76	2.06	β
36	11	1	14	2.8	1.5	г.	25.2	ч.	0.36	1.46	1.99	3.1	α
37	20	9	67	5.6	5.0	ч.	8.1	оч. ч.	0.17	2.26	4.14	2.19	β
38	84	30	261	6.4	7.0	оч. ч.	2	оч. ч.	0.11	2.93	11.3	1.71	β
39	9	0	11	2.8	1.5	оч. г.	68.3	г.	0.47	1.24	1.95	2.49	β
40	10	5	40	5.7	4.5	ум. з.	23.5	ч.	0.12	2.2	3.18	2.2	β

Примечание. N – число видов; EPT – количество видов Ephemeroptera + Plecoptera + Trichoptera; BMWP – Biological Monitoring Working Party Index; ASPT – Average Scoreper Taxon; OQR – Overall Quality Rating.; * – качество вод и грунтов, оцененное по индексу OQR: оч. ч. – очень чистые, ч. – чистые, ум. з. – умеренно загрязненные, з. – загрязненные, г. – грязные, оч. г. – очень грязные; Г-У – индекс Гуднайта – Уитли; ** – качество вод по значению индекса Гуднайта – Уитли по ГОСТ 17.1.3.07-82; D – индекс доминирования; H – индекс Шеннона, бит/экз.; M – индекс Менхиника; S – сапробность, *** – зона сапробности: α – α-мезосапробная, β – β-мезосапробная.

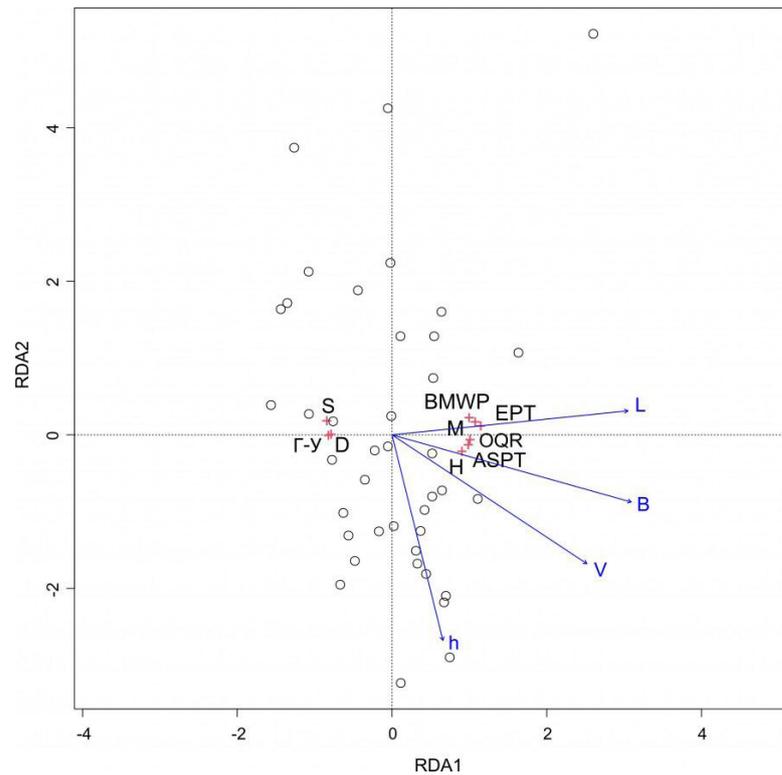


Рис. 3. Визуализация данных анализа избыточности (RDA)
Fig. 3. Visualization of redundancy analysis data (RDA)

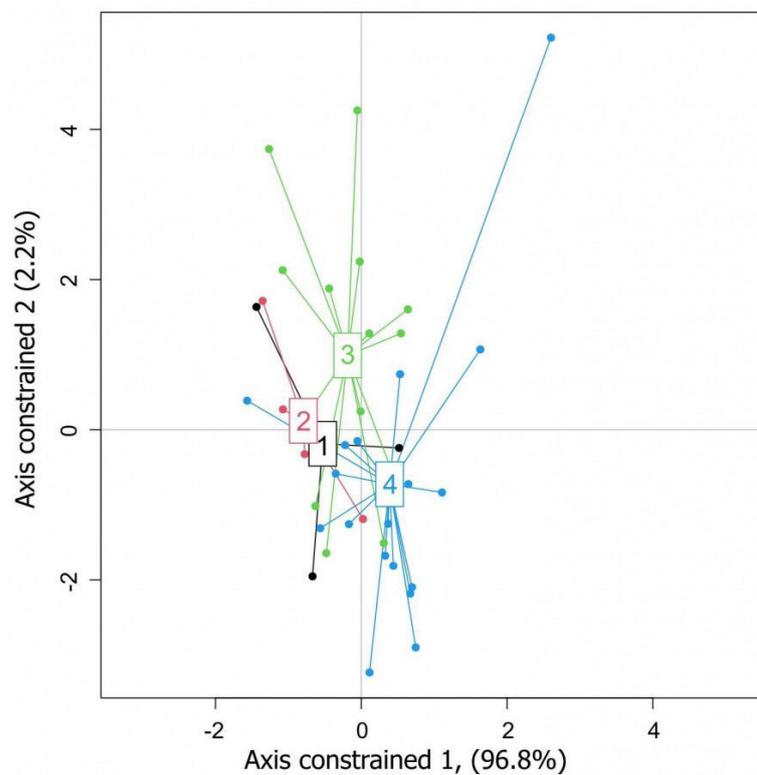


Рис. 4. Группировка рек в зависимости от типа субстрата методом RDA (глинистый – 1, илистый – 2, песчаный – 3, каменистый – 4)
Fig. 4. Grouping of rivers depending on the type of substrate by the RDA method (clay – 1, muddy – 2, sandy – 3, rocky – 4)

В структурировании рек по уровню освоенности водосборов наблюдается тенденция к группировке рек с сильным воздействи-

ем на водосбор (рис. 5). Реки с умеренной и слабой освоенностью водосбора образуют единую группу.

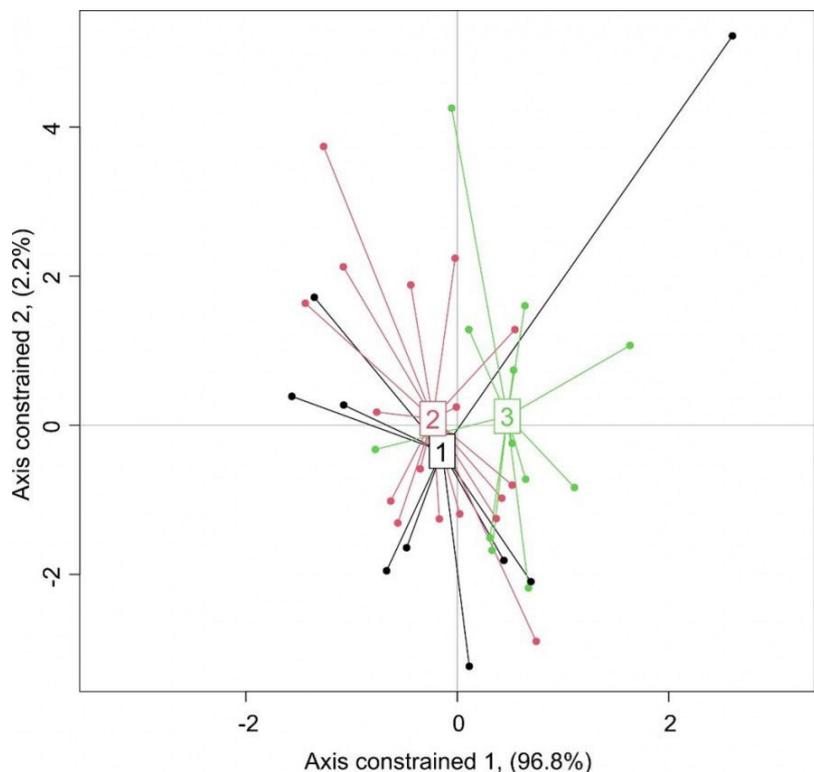


Рис. 5. Группировка рек в зависимости от степени освоенности водосбора методом RDA (слабая – 1, умеренная – 2, сильная – 3)

Fig. 5. Grouping of rivers depending on the degree of development of the catchment area by the RDA method (weak – 1, moderate – 2, strong – 3)

Обсуждение

При оценке экологического состояния малых рек при помощи нескольких индексов самое высокое качество вод отмечено в реках Верхняя Ерга, Уфтюга, Белый Шингарь, Кобаньга. Эти реки характеризуются высокой скоростью течения, песчано-каменистыми грунтами. Таксоны ЕРТ здесь составляют от трети до половины всего видового списка. Ранее авторами для притоков р. Сухоны также было показано высокое качество вод в реках Белый Шингарь и Вологда в ее верховьях (Ивичева и др., 2024). В перечисленных реках отмечено большее число биотопов (плесы, перекаты). Как следствие, они характеризуются большим видовым богатством и количеством реофильных видов.

Самое низкое качество вод по всем индексам было отмечено в р. Барачихе, где зафиксировано наименьшее число видов зообентоса. Низкое качество вод в данном случае может быть связано с протеканием реки среди болот и отбором проб вблизи реки. Низкое качество вод также отмечено для рек, расположенных вблизи населенных

пунктов (Лоста, Великовка, Обрубновка, Кичуга) и для очень малых рек, протекающих по заболоченным территориям (Тиновка, Сивеж, Саковеж, Малая Бобровка, Левая Кичуга, Кобыла). Во всех реках отмечено низкое значение ЕРТ и BMWP индексов, значение индекса сапробности относится к α -сапробной зоне или же близко к ней.

Индексы BMWP, ASPT, OQR и индекс Гуднайта – Уитли для ряда рек показали противоречивые результаты. При этом реки, отнесенные по индексу OQR к категории «чистых», характеризуются как «чистые» и по индексу Гуднайта – Уитли. В то же время «грязные» по индексу реки могут характеризоваться как «чистые» по индексу Гуднайта – Уитли. Для ряда рек мы можем объяснить низкое качество вод по индексу OQR близостью к населенному пункту. Для других же рек низкое качество вод объясняется скорее их малыми размерами и заболоченностью водосборов. Индексы BMWP, ASPT, OQR оценивают состояние сообществ по всему набору видов в водотоке, а для индекса Гуднайта – Уитли используется лишь одна индикатор-

ная группа. Видовое богатство рек зависит от размера водотока (Алимов и др., 2013), а также от количества биотопов на участке отбора пробы (наличие плесов и перекатов, каменистого грунта, зарослей макрофитов). Как правило, вблизи истоков количество биотопов в реках снижается (Алимов и др., 2013). Важным фактором, который отражается на видовом составе зообентоса, является также высокая заболоченность водосбора р. Сухоны (см. рис. 1). Так, для болотных водотоков наблюдается снижение таксономического разнообразия (Ивичева, Филиппов, 2017). Наряду с реофильными таксонами (поденки, ручейники) из состава донных сообществ выпадают также олигохеты. Этим, вероятно, и объясняется высокое значение индекса Гуднайта – Уитли для ряда водотоков. Сомнение в применении индекса Гуднайта – Уитли для оценки качества вод малых рек ранее высказывалось в работе (Даирова, Живоглядова, 2014), однако в данном исследовании выпадение олигохет связано скорее с высокой скоростью течения.

При использовании индекса сапробности для малых равнинных рек крайне редко возможно получить олигосапробное качество вод. Даже реки, характеризующиеся большим числом видов, относятся к β -мезосапробным, хотя значение индекса сапробности близко к 1.5. Для равнинных рек «фоновым» является значение индекса сапробности 1.5–2. Диапазон колебаний индекса для зообентоса составляет 1.5–3.5. Это подтверждено другими исследованиями Центральной России (Холмогорова, 2024; Соколова, Мурадова, 2025).

Ряд исследований показывает, что для оценки экологического состояния малых рек наиболее подходят индексы ЕРТ, BMWP и индекс Шеннона (Даирова, Живоглядова, 2014; Андрианова, 2015; Головатюк, Зинченко, 2020; Яныгина, 2023). Высокие значения индексов ЕРТ и BMWP являются следствием гидрологических характеристик и особенностей водного объекта, в первую очередь высокой скорости течения (Гончаров и др., 2025). В нашем исследовании скорость течения имела значимую, но невысокую корреляционную связь: положительную с индексами ЕРТ, BMWP, ASPT, OQR, H, M; отрицательную – с индексами Г–У, D и S. Вероятно, это связано с тем, что реки протекают по территории низины и скорость течения в большинстве водотоков невысокая.

Применение индексов BMWP, ASPT, OQR оправдано при большом числе видов в во-

достоке. Расчет этих индексов основан в первую очередь на реофильных таксонах зообентоса (поденки, веснянки, ручейники, жуки). При низком видовом богатстве, являющемся следствием малых размеров водотоков и высокой заболоченности, индексы BMWP, ASPT, OQR могут «снижать» качество вод. В то же время индекс Гуднайта – Уитли, использующий только одну группу гидробионтов, дает экспресс-оценку качества вод очень малых рек, но может искажаться за счет влияния болот. Исследованные нами водотоки значительно отличаются по длине, отбор проб проводился на разном от истока расстоянии. Все эти параметры могут вносить свои корректировки в расчет индексов. Индексы видового разнообразия и сапробности в меньшей степени зависят от размеров водотоков и не так искажаются вследствие малого числа биотопов или заболоченности водосбора. Однако использовать их следует в сравнительном ключе, не применяя балльную градацию.

Качество вод исследуемых притоков не имеет выраженного тренда вдоль водосбора р. Сухоны. Несмотря на меньшую освоенность водосборов восточной части Вологодской области, используемые в данном исследовании индексы качества вод дают противоположные значения для водотоков, в целом сходных по гидрологическим параметрам. Для экспресс-оценки качества вод по зообентосу следует применять индексы, использующие для своих расчетов разные показатели зообентоса. Применение только одного индекса может исказить полученную картину. Необходимо критически оценивать полученные значения. Индексы BMWP, ASPT, OQR, бесспорно, имеют преимущества в оценке качества вод, но для их корректного применения необходимо расширение сетки станций и методов сбора.

Заключение

Исследованы реки разной длины (от 4 до 170 км), отбор проб проводился на разном от истока расстоянии. Натурные исследования показали, что среди притоков р. Сухоны отмечены реки как с высоким качеством вод, так и с низким. Высокое качество вод по всем показателям отмечено в реках с большим количеством биотопов и высокой скоростью течения. Низкое качество вод в ряде случаев объясняется близостью к населенным пунктам. В то же время в очень малых реках и в реках, протекающих по болотам, качество вод, оцененное по показателям зо-

обентоса, также может снижаться. Индексы, основанные на доле крупных таксономических групп, дают более объективную картину в пределах водосборов с существенным антропогенным воздействием. Для рек, водосбор которых слабо нарушен хозяйственной деятельностью, более показательны индексы с видами-биоиндикаторами. Индексы ЕРТ, BMWP, ASPT, OQR хорошо работают в достаточно крупных реках с большим числом битопов. Значение индекса Гудната – Уитли может искажаться в реках, протекающих по болотам. Значение индексов видовой разнообразия и сапробности перспективнее использовать в сравнительном ключе, не придерживаясь балльной градации. Значение индекса сапробности для рек таежной зоны находится в β - и α -сапробной зонах, что является фоновым значением и для центральной части России.

Библиография

- Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука, 2013. 342 с.
- Андрианова А. В. Биотические индексы и метрики в оценке качества воды малых рек на территории природного парка «Ергаки» (юг Красноярского края) // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.
- Безматерных Д. М. Влияние антропогенного загрязнения на структуру макрозообентоса реки Барнаулки (бассейн верхней Оби) // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, № 1. С. 52–61. DOI: 10.7868/S0321059618010066
- Безматерных Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2007. № 85. С. 1–86.
- Болотова Н. Л., Воробьев Г. А., Шестакова Л. Г. Река Сухона // Природа Вологодской области. Вологда: Изд. Дом «Вологжанин», 2007. С. 128–132.
- Головатюк Л. В., Зинченко Т. Д. Биотические идентификаторы в оценке качества воды эталонной реки: сравнительный анализ биоиндикационных индексов реки Байтуган (Высокое Заволжье) // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Естественные науки. 2020. Т. 162, № 1. С. 134–150. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.1.134-150
- Гончаров А. В., Палатов Д. М., Георгиади А. Г. Особенности донных биоценозов рек в разнотипных ландшафтах Верхней Волги // Биология внутренних вод. 2025. Т. 18, № 1. С. 149–159. DOI: 10.31857/S0320965225010132
- Даирова Д. С., Живоглядова Л. А. Использование различных методов биоиндикации (биотических индексов и метрик) для оценки экологического состояния и качества воды малых рек бассейна р. Лугога (о-в Сахалин) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2014. № 6. С. 191–200.
- Ивичева К. Н., Филиппов Д. А. Водные макробеспозвоночные верховых болот центральной части Вологодской области // Труды Карельского научного центра РАН. № 9. 2017. С. 30–45. DOI: 10.17076/eco472
- Ивичева К. Н., Филиппов Д. А., Макаренкова Н. Н., Зайцева В. Л., Филоненко И. В., Зуев Ю. А. Влияние урбанизации на сообщества макрофитов, фито-, зоопланктона и макрозообентоса рек бассейна р. Сухоны // Принципы экологии. 2024. № 3. С. 27–45. DOI: 10.15393/j1.art.2024.15164
- Лобуничева Е. В., Макаренкова Н. Н., Ивичева К. Н., Филоненко И. В., Литвин А. И., Попета Е. С., Думнич Н. В. Оценка экологического состояния малой реки урбанизированной территории по характеристикам фитопланктона, зоопланктона и зообентоса на примере р. Содема (Вологодская область) // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6, № S4 (22). С. 119–140. DOI: 10.23859/estr-230922
- Максимова Н. К., Воробьев Г. А. Ландшафты // Природа Вологодской области. Вологда: Вологжанин, 2007. С. 299–328.
- Петров Д. С., Якушева А. М. Оценка экологического состояния малых водотоков Санкт-Петербурга по показателям зообентоса в 2019–2021 гг. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67, № 3. С. 529–544. DOI: 10.21638/spbu07.2022.308
- Поздеев И. В., Аристова Р. А. Биоиндикация качества вод по донным животным в системе экологического мониторинга водных объектов // Биология в школе. 2023. № 3. С. 48–53. DOI: 10.47639/0320-9660_2023_3_48
- Семенченко В. П. Принципы и системы биоиндикации текущих вод. Минск: Орех, 2004. 125 с.
- Соколова Т. Л., Мурадова Л. В. Оценка экологического состояния некоторых малых рек Государственного природного заповедника «Кологривский лес» по зообентосным сообществам // Принципы экологии. 2025. № 2 (56). С. 99–117. DOI: 10.15393/j1.art.2025.15803
- Филоненко И. В., Филиппов Д. А. Оценка площади болот Вологодской области // Труды Инсторфа. 2013. № 7 (60). С. 3–11.
- Холмогорова Н. В. Экотоксикологическая оценка состояния малой реки в зоне влияния сточных вод молокозавода методами биодиагностики // Труды Института биологии внутренних вод им.

- И. Д. Папанина РАН. 2024. Вып. 107 (110). С. 42–51. DOI: 10.47021/0320-3557-2024-42-51
- Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 1. М.: Наука, 2005. 281 с.
- Шуйский В. Ф., Максимова Т. В., Петров Д. С. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений // Экология и развитие Северо-Запада России: Сб. науч. докл. VII междунар. конф. (Санкт-Петербург, 2–7 авг. 2002 г.). СПб., 2002. С. 441–451.
- Щербина Г. Х. Таксономический состав и сапробиологическая значимость донных макробеспозвоночных различных пресноводных экосистем Северо-Запада России // Экология и морфология беспозвоночных континентальных вод: Сб. науч. работ, посвящ. 100-летию со дня рождения Ф. Д. Мордухай-Болтовского. Махачкала, 2010. С. 426–466.
- Яныгина Л. В. Особенности структурных перестроек сообществ водных макробеспозвоночных низкоргорных водотоков Алтая под влиянием селитебных территорий // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6, № 5 (23). С. 95–106. DOI: 10.23859/estr-220915
- Яныгина Л. В., Евсеева А. А. Структурные перестройки донных сообществ малых рек бассейна Верхней Оби и Иртыша в зоне деятельности горнодобывающих предприятий // Биология внутренних вод. 2022. № 2. С. 198–204. DOI: 10.31857/S0320965222020188
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // *Ergebn. der Limnol. N. Arsh. Fur Hydrobiol.* 1973. Vol. 7, № 1. P. 1–218.
- Wegl R. Index für die Limnosaprobität // *Wasser und Abwasser.* 1983. Vol. 26. S. 1–175.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-25-00 и ИБВВ РАН № 124032500016-4.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Вологодского филиала ФГБНУ "ВНИРО", участвовавшим в отборе проб.

ASSESSMENT OF THE WATER QUALITY OF THE SUKHONA RIVER TRIBUTARIES (VOLOGDA OBLAST) ACCORDING TO ZOOBENTHOS INDICATORS

IVICHEVA
Ksenya Nikolaevna

PhD, St. Petersburg Branch of the Scientific Research Center of the Russian Federation VNIRO, 26, Makarova emb., St. Peterburg, Russia, ivicheva@niorh.vniro.ru

FILONENKO
Igor Vladimirovich

PhD, Vologda branch of the Scientific Research Center of the Russian Federation VNIRO, 5, Levicheva st., Vologda, Russia, filonenko@vologod.vniro.ru

KOMAROVA
Alexandra Sergeevna

PhD, I.D.Papanin Institute of Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Sankt-Peterburg Branch VNIRO, 109, setl.Borok, Nekouzsky district, Yaroslavl region, Russia, komarova.aleks@yandex.ru

Key words:
zoobenthos
bioindication
water quality
small rivers
Vologda oblast

Summary: Hydrobiological studies of 40 tributaries of the Sukhona River (White Sea basin) were conducted in the summer of 2016–2018. The assessment of the ecological state of the rivers was carried out on the basis of quantitative and qualitative data from zoobenthos. According to zoobenthos indicators, the cleanest rivers include rivers with high flow rates; the most polluted are rivers flowing near populated areas, as well as through wetlands. The contribution of the hydrological characteristics of the catchment area to the formation of water quality is shown. The indices obtained in some cases show contradictory results. The values of the EPT, ASPT, BMWP, and OQR indices may decrease in small watercourses. The value of the Goodnight-Whitley index can be influenced by swamps located in the catchment area. It is shown that the background values of the saprobic index for the watercourses of the taiga zone are in the range of 1.5–2.5. The indices of species diversity and saprobity should be considered in a comparative way.

Reviewer: D. M. Bezmaternich

Received on: 17 November 2025

Published on: 25 December 2025

References

- Alimov A. F. Bogatov V. V. Golubkov S. M. Productive hydrobiology. SPb.: Nauka, 2013. 342 p.
- Andrianova A. V. Bioticheskie indeksy i metriki v ocenke kachestva vody malyh rek na territorii prirodnoho parka «Ergaki» (yug Krasnoyarskogo kraya) [Biotic indices and metrics in assessment of the water quality of small rivers on the territory of Ergaki nature park (south of Krasnoyarsk region), Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2015. T. 22, No. 3. P. 439–451. DOI: 10.15372/SEJ20150311
- Bakanov A. I. The use of zoobenthos for monitoring freshwater reservoirs, Biologiya vnutrennih vod. 2000. No. 1. P. 68–82.
- Bezmaternyh D. M. Effect of anthropogenic pollution on macrozoobenthos structure in Barnaulka River (Upper Ob basin), Vodnye resursy. 2018. T. 45, No. 1. P. 52–61. DOI: 10.7868/S0321059618010066
- Bezmaternyh D. M. Zoobenthos as an indicator of the ecological status of aquatic ecosystems in Western Siberia, Ekologiya. Seriya analiticheskikh obzorov mirovoy literatury. 2007. No. 85. P. 1–86.
- Bolotova N. L. Vorob'ev G. A. Shestakova L. G. Sukhona River, Priroda Vologodskoy oblasti. Vologda: Izd. Dom «Vologzhanin», 2007. P. 128–132.
- Dairova D. S. Zhivoglyadova L. A. The use of different methods of bioindication (biotic indices and metrics) to assess the environmental condition and water quality of small rivers in the basin of the Lutoga River (Sakhalin Island), Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova. 2014. No. 6. P. 191–200.
- Filonenko I. V. Filippov D. A. Assessment of the swamp area of the Vologda oblast, Trudy Instorfa. 2013. No. 7 (60). P. 3–11.
- Golovatyuk L. V. Zinchenko T. D. Biotic indices in water quality assessment for reference rivers: a comparative analysis of bioindication indices of the Baitugan River (High Transvolga region),

- Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki. 2020. T. 162, No. 1. P. 134–150. DOI: 10.26907/2542-064X.2020.1.134-150
- Goncharov A. V. Palatov D. M. Georgiadi A. G. The characteristics of benthic biocenoses of rivers in diverse landscapes of the Upper Volga basin, *Biologiya vnutrennih vod*. 2025. T. 18, No. 1. P. 149–159. DOI: 10.31857/S0320965225010132
- Holmogorova N. V. Ecotoxicological assessment of the state of a small river in the influence zone of dairy plant wastewater by biodiagnostics methods, *Trudy Instituta biologii vnutrennih vod im. I. D. Papanina RAN*. 2024. Vyp. 107 (110). P. 42–51. DOI: 10.47021/0320-3557-2024-42-51
- Ivicheva K. N. Filippov D. A. Zayceva V. L. Filonenko I. V. Zuev Yu. A. The impact of urbanization on macrophyte, phyto-, zooplankton, and macrozoobenthos communities in the Sukhona River basin, *Principy ekologii*. 2024. No. 3. P. 27–45. DOI: 10.15393/j1.art.2024.15164
- Ivicheva K. N. Filippov D. A. Aquatic macroinvertebrates of raised bogs in the central part of the Vologda region, Russia, *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. No. 9. 2017. P. 30–45. DOI: 10.17076/eco472
- Lobunicheva E. V. Makarenkova N. N. Ivicheva K. N. Filonenko I. V. Litvin A. I. Popeta E. S. Dumnich N. V. Assessing the ecological state of a small river in the urbanized area in terms of phytoplankton, zooplankton and zoobenthos characteristics (on the example of the Sodema River (Vologda region), *Transformaciya ekosistem*. 2023. T. 6, No. S4 (22). P. 119–140. DOI: 10.23859/estr-230922
- Maksutova N. K. Vorob'ev G. A. Landscapes, *Priroda Vologodskoy oblasti*. Vologda: Vologzhanin, 2007. P. 299–328.
- Petrov D. S. Yakusheva A. M. Assessment of the ecological status of small watercourses of St. Petersburg according to zoobenthos indicators in 2019–2021., *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2022. T. 67, No. 3. P. 529–544. DOI: 10.21638/spbu07.2022.308
- Pozdeev I. V. Aristova R. A. Bioindication of water quality by bottom animals in the system of ecological monitoring of water bodies, *Biologiya v shkole*. 2023. No. 3. P. 48–53. DOI: 10.47639/0320-9660_2023_3_48
- Scherbina G. H. Taxonomic composition and saprobiological significance of benthic macroinvertebrates of various freshwater ecosystems in Northwestern Russia, *Ekologiya i morfologiya bespozvonochnyh kontinental'nyh vod: Sb. nauch. rabot, posvyasch. 100-letiyu so dnya rozhdeniya F. D. Morduhay-Boltovskogo*. Mahachkala, 2010. P. 426–466.
- Semenchenko V. P. Principles and systems of bioindication of flowing waters. Minsk: Oreh, 2004. 125 p.
- Shitikov V. K. Rozenberg G. S. Zinchenko T. D. Quantitative hydroecology: methods, criteria, solutions. Kn. 1. M.: Nauka, 2005. 281 p.
- Shuyskiy V. F. Maksimova T. V. Petrov D. S. Bioindication of the quality of the aquatic environment, the state of freshwater ecosystems and their anthropogenic changes, *Ekologiya i razvitie Severo-Zapada Rossii: Sb. nauch. dokl. VII mezhdunar. konf. (Sankt-Peterburg, 2–7 avg. 2002 g.)*. SPb., 2002. P. 441–451.
- Sládeček V. System of water quality from the biological point of view, *Ergebn. der Limnol. H. Arsh. Fur Hydrobiol*. 1973. Vol. 7, No. 1. P. 1–218.
- Sokolova T. L. Muradova L. V. Assessment of the ecological status of some small rivers of the State Nature Reserve «Kologrivsky Forest» by zoobenthos communities, *Principy ekologii*. 2025. No. 2 (56). P. 99–117. DOI: 10.15393/j1.art.2025.15803
- Wegl R. Index für die Limnosaprobität, *Wasser und Abwasser*. 1983. Vol. 26. S. 1–175.
- Yanygina L. V. Evseeva A. A. Structural transformations of bottom communities in small rivers of the Upper Ob and Irtysh basins under the Influence of mining enterprises, *Biologiya vnutrennih vod*. 2022. No. 2. P. 198–204. DOI: 10.31857/S0320965222020188
- Yanygina L. V. Features of structural changes in communities of aquatic macroinvertebrates in low-mountain watercourses of Altai under the influence of residential areas, *Transformaciya ekosistem*. 2023. T. 6, No. 5 (23). P. 95–106. DOI: 10.23859/estr-220915