

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД КРУПНОЙ РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ ПО МАКРОЗООБЕНТОСУ¹

© 2021 г. И. А. Барышев*

*Институт биологии КарНЦ РАН ФИЦ КарНЦ РАН,
Петрозаводск, 185910 Россия*

**e-mail: i_baryshev@mail.ru*

Поступила в редакцию 07.12.2020 г.

После доработки 07.12.2020 г.

Принята к публикации 30.03.2021 г.

Представлены результаты оценки экологического качества вод по макрозообентосу р. Шуи – одного из крупнейших притоков Онежского озера, определяющего состав воды в водозаборе г. Петрозаводска – столицы Республики Карелии. Используются широко распространенные в мировой практике индексы качеств вод: FBI, EBI, BMWP, ASPT, BBI, IBGN, GW, EPT и IM, а также интегральный индекс ИБС. При средней оценке “хорошо” значения индексов существенно зависели от характеристик станции. Сборы с плесовых участков с мягкими грунтами показали заниженные значения индексов качества вод. “Посредственное” и “хорошее” отмечено для малых притоков и “отличное” – для порогов в нижнем течении крупных рек. Рекомендовано оценивать качество вод раздельно для плесовых участков, малых притоков и порогов в главном русле; по полученным значениям индексов сравнивать только аналогичные биотопы. Установлено, что в целом экосистема реки находится в стабильном состоянии, сопоставимом с отмеченным в 1980-х гг., несмотря на увеличение антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: биоиндикация, донные беспозвоночные, загрязнение, FBI, EBI, BMWP, ASPT, BBI, IBGN, EPT.

DOI: 10.31857/S0321059621050059

ВВЕДЕНИЕ

Под термином “экологическое качество воды” понимают структуру и функционирование сообществ гидробионтов, которые выражают состояние водных объектов [23]. Загрязнение поверхностных вод становится все более актуальной угрозой для окружающей среды во всем мире. Сейчас 14% европейских водоемов и водотоков испытывают серьезные экологические проблемы [42]. Оценка состояния рек и озер на основе свойств и изменений резидентной биоты – неотъемлемая часть мониторинга поверхностных вод и оценки их качества, поскольку структура сообществ водных организмов выражает условия своего формирования – совокупное воздействие факторов среды [20, 23, 45, 49]. Макрозообентос широко используется в биоиндикации текущих вод, так как он один из основных компонентов речной биоты и наиболее стабилен в течение года [9, 43, 44, 48]. К настоящему времени разработано и используется большое количество метрик и ин-

дексов, позволяющих оценить экологическое качество воды по донным беспозвоночным [9, 23, 41].

Качество вод рек и озер Российской Федерации в целом относительно стабильно, однако состояние целого ряда водных объектов крайне неблагоприятно. Кроме того, наблюдающиеся изменения климата усугубляются отрицательным влиянием хозяйственной деятельности человека на водные экосистемы [15]. Республика Карелия, находящаяся в юго-восточной части Фенноскандии, выделяется на фоне других регионов европейской России большим числом рек и озер, прохладным влажным климатом и низкой плотностью населения. В целом водные объекты этой территории слабо вовлечены в хозяйственную деятельность и отличаются экологическим благополучием [15]. Однако стремительно развивается товарное рыболовство, в большинстве малых населенных пунктов очистка хозяйственно-бытовых стоков не проводится [11]. Наибольшее опасение вызывает состояние рек в южной части республики, где плотность населения выше и сосредоточены основные сельскохозяйственные производства. Так, на районы на территории водосбора р. Шуи приходится 13% продукции сель-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке из средств федерального бюджета в рамках государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0081).

ского хозяйства Республики Карелии [31]. В о. Сязозеро, крупнейшем водоеме на водосборе, выращивается товарная форель, что оказывает значительное влияние не только на экосистему озера, но и на р. Сяпсю — один из основных притоков Шуи [17, 25]. Нижнее течение р. Шуи принимает стоки поселков и дачных кооперативов, расположенных по берегам. В воде периодически отмечается повышенное содержание (до 0.57 мг/л) общего фосфора $P_{\text{общ}}$ [13]. Всего водами Шуи выносится 100 т $P_{\text{общ}}$ в год, что составляет 23% всего фосфора, поступающего в Онежское озеро с речным стоком [46]. Антропогенная составляющая стока $P_{\text{общ}}$ р. Шуи оценивается в 38% [19]. Поскольку р. Шуя, один из крупнейших водотоков Республики Карелии, во многом определяет качество воды в зоне водозабора г. Петрозаводска в Онежском озере, контроль ее состояния особенно важен.

Исследования донных сообществ р. Шуи ранее проводили неоднократно. Изучены видовой состав и количественные характеристики макрозообентоса, оценено влияние мелиоративных работ на экосистему реки [6, 24, 28, 30]. В 1980-х гг. была проведена оценка качества вод р. Шуи по биотическим показателям, что позволяет проследить долговременную динамику экологического состояния реки [18]. Цель настоящей работы — оценка современными методами экологического качества вод речной системы (р. Шуи) на европейском Севере, относительно слабо затронутой хозяйственной деятельностью человека; выявление изменения качества вод в долговременной перспективе; определение специфики применения распространенных в мировой практике методов биоиндикации в условиях рек Европейского Севера России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бассейн р. Шуи расположен в южной части Республики Карелии (юго-восточная часть Фенноскандии). Климат морской, переходный к континентальному, зимы сравнительно мягкие, среднегодовая температура 1.8–2.5°C, безморозный период 100–120 дней [2]. Территория республики отличается малой плотностью населения, в среднем 3.4 чел/км², причем 80% — городские жители, а на большей территории плотность менее 1 чел/км² [14, 21].

Русло р. Шуи имеет длину 272 км, из которых 72 км приходятся на проточные озера. Полное падение составляет 162 м, удельное падение речной части 0.81 м/км. Площадь водосбора 10267 км², расход воды 89.6 м³/с, озерность [8, 22]. Для водосбора свойственны высокие озерность (10.3%) и заболоченность (18%), последнее обуславливает высокие концентрации гуминовых веществ и

цветность воды, составляющую в устье 50–97 град. [8, 46]. Средняя плотность населения на территории бассейна р. Шуи в верхнем течении <1 и в нижнем 1–2 чел/км² [2]. Для оценки экологического качества вод р. Шуи были выбраны 25 станций в основном русле и притоках (рис. 1).

На порогах и перекатах пробы отбирали количественной рамкой площадью 0.04 м², на плесах — дночерпателем ДАК250 площадью 0.025 м² (по 2 подъема на пробу). Для расчета индексов экологического качества вод результаты нескольких проб, отобранных с одной станции в одно время, были усреднены. Характеристики станций и число проб приведены в табл. 1.

Для оценки экологического качества вод выбраны индексы, широко применяемые в мировой практике, преимущественно требующие определения выявленных организмов до уровня семейства: Family Biotic Index (FBI), Extended Biotic Index (EBI), Biological Monitoring Working Party Index (BMWP), Average Score Per Taxon (ASPT), Belgian Biotic Index (BBI), Indice Biologique Global Normalize (IBGN), Индекс Гутнайта–Уитлея (GW), EPT Richness index (EPT) и Индекс Майера (IM). Краткая характеристика индексов и ссылки на источники приведены в табл. 2. Для итоговой суммарной оценки использован интегральный индекс биологического состояния (ИБС), среднее арифметическое от рассчитанных индексов, приведенных к единой шкале [9]. В отличие от указанного литературного источника, где использована четырехбалльная шкала, в данной работе выбрана пятибалльная градация, поскольку именно такая используется во многих распространенных индексах. ИБС позволил получить интегральную оценку качества вод, баллы: 1 — очень плохое, 2 — плохое, 3 — посредственное, 4 — хорошее, 5 — отличное.

Для выделения групп станций, близких по качеству вод, применен кластерный анализ с методом средней связи (UPGMA) для объединения станций в кластеры и Евклидовым расстоянием (Euclidean linkage) — для оценки сходства объектов. В качестве признаков выбраны рассчитанные значения индексов экологического качества вод (табл. 2). Расчеты проведены в программе PAST3.18 [37].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Видовой состав донных сообществ р. Шуи и обилие макрозообентоса на отдельных станциях опубликованы ранее в [6]. Средние значения показателей обилия и разнообразия донных беспозвоночных р. Шуи и ее притоков приведены в табл. 3.

Рассчитанные значения индексов оценки экологического качества вод и интегральный показа-

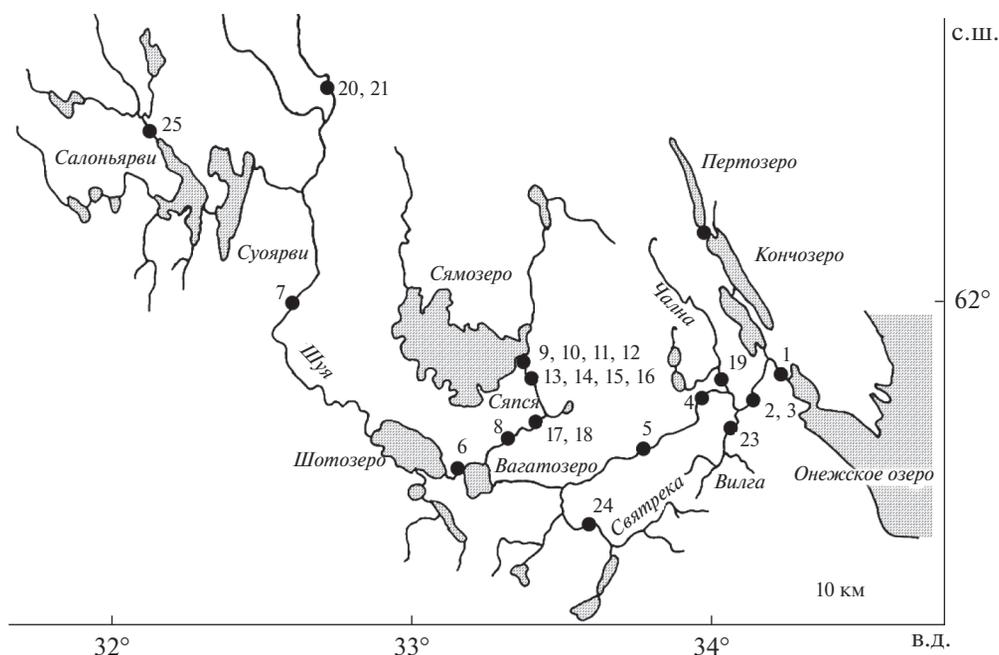


Рис. 1. Картограмма территории расположения станций отбора проб (1–25) на р. Шуе и ее притоках. Обозначения станций в соответствии с табл. 1.

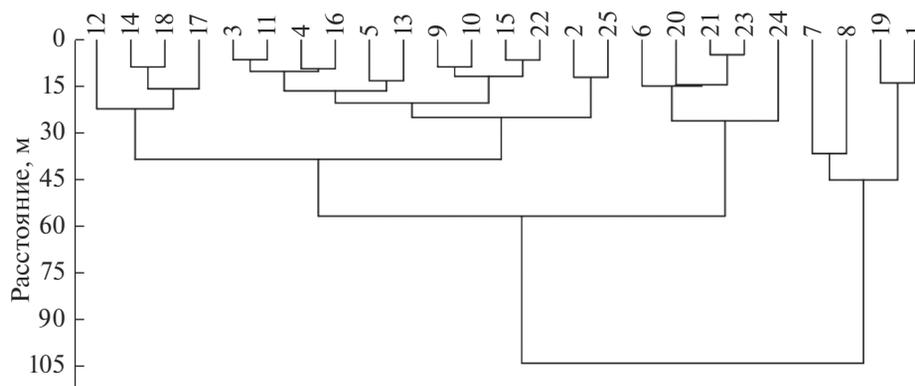


Рис. 2. Дендрограмма сходства станций р. Шуи и ее притоков по значениям индексов оценки качества вод (нумерация станций в соответствии с табл. 1).

тель ИБС (в среднем – 4.2) позволяют сделать заключение о соответствии вод р. Шуи в целом классу качества “хорошее” (табл. 4). Вместе с тем выявлены две станции с низким качеством вод, соответствующим градации 2 – “плохое”.

Для оценки связи показателей обилия и разнообразия макрозообентоса с классом качества вод проведен корреляционный и дисперсионный анализ (табл. 5). Кроме того, выявлена статистически значимая связь ИБС с цветностью воды (корреляционный анализ по Спирмену: $r_s = -0.45$, $p = 0.02$; дисперсионный анализ: $F = 744$, $\omega^2 = 0.937$, $p < 0.01$).

Для выделения групп станций с близкими значениями индексов экологического качества вод применен кластерный анализ (рис. 2). В результате выделена группа станций (1, 4, 8, 19) – на плевовых участках с мягкими грунтами, где формируются пелофильные и псаммофильные сообщества.

Отдельную группу (станции 5, 20, 21, 23, 24) составили станции в малых притоках (кроме ст. 6, которая расположена в крупном водотоке). В наибольшую группу, объединившую остальные станции, вошли пороги крупных водотоков с развитым реофильным комплексом видов. В этой

Таблица 1. Характеристика станций и объем материала (расход воды на станциях приведен по [8]; грунт: П – песчаный, К – каменистый, И – илистый; номера станций в соответствии с рис. 1)

№ станции	Река	Станция	Координаты	Расход воды, м ³ /с	Дата	Скорость течения, м/с	Грунт	Число проб	
1	Шуя	пос. Шуя	61.90° с.ш., 34.23° в.д.	90	03.08.18	0.05	П	2	
2		пос. Бесовец	61.87° с.ш.;	90	11.10.07	0.30	К	3	
3			34.16° в.д.		03.08.18	0.63	К	3	
4		пос. Виданы	61.85° с.ш.;	89	11.10.07	0.43	К	3	
5			33.96° в.д.		03.08.18	0.40	К	3	
6		Выше Вагатозера	61.75° с.ш.;	54	30.07.19	0.50	К	3	
7			33.16° в.д.		30.07.19	0.10	П	2	
8	Сяпся	Порог Сорикоски	61.80° с.ш.;	15	02.08.18	0.10	И	2	
9			33.32° в.д.		27.07.05	0.20	К	3	
10		пос. Сяпся	61.92° с.ш.;	12	27.07.05	0.20	П	3	
11			33.37° в.д.			10.10.05	0.20	К	3
12				12	27.07.05	0.23	П	3	
13		Порог Тюкка	61.88° с.ш.;			0.53	К	3	
14			33.40° в.д.	12	10.10.05	0.37	К	3	
15					10.10.07	0.40	П	3	
16				12	10.10.07	0.40	К	3	
17		Порог Горбункоски	61.83° с.ш.;		11.10.07	0.33	К	3	
18			33.43° в.д.	11.10.07	0.40	П	3		
19		Чална	пос. Чална	61.89° с.ш.;	1.9	08.08.17	0.10	И	2
20				34.05° в.д.					
21	Халкойоки	Выше оз. Вихтимъярви	62.42° с.ш.;	0.1	27.07.09	0.10	П	3	
22			32.62° в.д.						
23	Викша	Исток из оз. Пертозеро	62.12° с.ш.;	2.0	10.08.15	0.60	К	3	
24			34.01° в.д.						
25	Вилга	пос. Матросы	61.82° с.ш.;	0.7	03.08.18	0.30	К	3	
26			34.08° в.д.						
27	Святрека	пос. Пряжа	61.66° с.ш.;	3.6	02.08.18	0.30	К	3	
28			33.61° в.д.						
29	Айттойоки	пос. Вегарус	62.30° с.ш.;	5.0	30.07.19	0.40	К	3	
30			32.10° в.д.						

группе, однако, оказалась и небольшая р. Викша на участке истока из оз. Пертозеро (ст. 22), что может быть объяснено влиянием крупного водоема. Выделение трех групп биотопов при помощи кластерного анализа позволило проанализировать качество вод отдельно для плесовых участков (мягкие грунты, значительные глубины и низкая скорость течения), малых притоков и порожистых участков крупных рек (табл. 6).

Посредственное качество вод (наименьшие значения индекса ИБС) отмечено для плесов, хорошее – для малых притоков и отличное – для порогов в нижнем течении крупных рек.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для исследованных станций на р. Шуе и ее притоках характерно довольно высокое обилие

Таблица 2. Выбранные индексы оценки экологического качества вод

Индекс	Качество вод, балл		Число градаций	Литературный источник
	наихудшее	наилучшее		
FBI	10	0	7	[38]
EVI	0	14	5	[36]
BMWP	<25	>150	5	[34]
ASPT	<2	>5	7	[34]
BBI	1	10	5	[35]
IBGN	0	17	5	[33]
GW	<30	>80	5	[9]
EPT	<15	>80	5	[40]
IM	<4	>22	5	[9]

Таблица 3. Обилие и разнообразие донных сообществ водотоков бассейна р. Шуи (Q_1 , Q_3 – квантили)

Характеристика	Среднее	Стандартная ошибка	Медиана	Q_1	Q_3
Численность, тыс. экз.	7.6	1.88	3.1	1.7	8.9
Биомасса, г/м	29.7	7.20	15.2	3.3	47.8
Число видов на станции	24.5	1.71	26.0	19.0	29.5
Индекс Шеннона	2.10	0.09	2.17	1.89	2.39
Индекс Симпсона	0.21	0.03	0.17	0.13	0.23

макрозообентоса в сравнении с другими водотоками на территории Республики Карелии, что отмечалось и ранее в [5, 39]. Это может быть следствием начального этапа эвтрофирования, когда его негативное влияние еще не выражено. Аналогичная тенденция наблюдалась и в других речных экосистемах на севере России [7, 32].

Использованные при биоиндикации индексы в целом позволили получить схожие результаты по станциям и не противоречат друг другу. Так, модуль коэффициента корреляции по Спирмену (r_s) между значениями индексов на станциях варьирует от 0.20 (между IM и GW) до 0.97 (между IBGN и BMWP). Наиболее близкие ИБС значения показал BBI ($r_s = 0.93$, $p < 0.01$), что позволяет рекомендовать его при необходимости ограничиться малым числом индексов. Обилие и число видов на станции положительно коррелируют со значением ИБС. Дисперсионный анализ также позволил выявить статистически значимое влияние обилия и разнообразия макрозообентоса на значение ИБС (табл. 5). Очевидно, это связано со спецификой методики расчета выбранных индексов качества вод, где баллы начисляются преимущественно за количество индикаторных таксонов, а не за среднее значение их валентности. Вместе с тем в [10] показана высокая эффективность TBI (Trent Biotic Index) и BMWP. Индекс TBI отличается низкой чувствительностью в

верхней части шкалы, поэтому автором статьи использована его расширенная модификация EVI [23]. Высокая чувствительность индексов EPT, BMWP и IBGN отмечена при исследовании малых рек Красноярского края [1]. В [48] рекомендуется использовать одновременно несколько различных индексов для объективной оценки качества вод.

Средняя оценка, полученная для р. Шуи и ее притоков, – хорошее качество воды, однако разница по станциям оказалась весьма существенной. Применение кластерного анализа позволило установить, что значения индексов экологического качества вод существенно различаются для плесов, малых водотоков и порогов в центральном русле. Отличное качество воды выявлено в крупных водотоках, что указывает на чистоту воды в реке в целом и отражает способность большой озерно-речной системы ассимилировать поступающие в настоящее время биогенные элементы. Хорошее, но не отличное экологическое качество вод выявлено в малых водотоках. Поскольку плотность населения на территории водосбора р. Шуи низка, можно предположить, что такая оценка обусловлена естественными причинами – возможно, высокой цветностью воды вследствие большого количества гуминовых веществ (установлена отрицательная зависимость ИБС от цветности). В условиях низкоминерали-

Таблица 4. Значения индексов биологического качества воды в р. Шуе и ее притоках (номера (№) станций приведены в соответствии с табл. 1 и рис. 1)

№	FBI	EBI	BMWP	ASPT	BBI	IBGN	GW	EPT	IM	ИБС
1	6.7	4	22	3.1	5	4	14.6	8	13	3
2	4.8	14	115	6.1	9	14	10.5	38	18	5
3	4.0	12	109	6.8	9	14	0.9	58	16	5
4	4.0	13	116	6.8	9	14	3.8	61	16	5
5	4.9	12	106	6.6	8	13	9.2	46	16	4
6	4.9	8	55	6.1	6	11	0.0	53	11	4
7	7.0	5	6	2.0	3	3	47.1	0	5	2
8	7.0	7	29	4.1	5	6	57.7	25	11	3
9	1.5	11	92	6.6	7	12	1.1	52	12	4
10	1.6	11	92	6.6	7	12	1.1	60	15	4
11	5.1	11	107	6.7	9	14	5.0	58	12	5
12	4.6	12	124	6.9	9	14	4.9	69	15	5
13	4.6	12	108	6.8	8	14	19.2	54	16	5
14	4.2	12	138	6.9	9	15	0.9	69	15	5
15	4.0	12	99	6.6	8	13	0.3	48	15	4
16	4.3	12	116	6.8	9	14	4.3	52	15	5
17	2.7	14	152	6.9	9	15	2.8	56	18	5
18	4.5	14	143	7.2	9	15	2.9	63	17	5
19	7.5	4	13	2.6	3	3	10.0	0	9	2
20	5.6	9	49	5.4	6	10	9.0	43	13	4
21	5.0	11	63	5.7	8	12	4.8	42	16	4
22	4.9	10	95	5.6	7	13	1.6	48	19	4
23	4.6	11	60	5.5	7	10	2.3	42	15	4
24	4.7	12	78	6.0	8	13	16.6	43	15	4
25	4.7	13	123	6.5	8	14	2.0	38	16	4

Таблица 5. Оценка связи индекса биологического состояния (ИБС) с характеристиками обилия и разнообразия макрозообентоса (r_s – значение коэффициента корреляции по Спирмену; p – статистическая значимость; F – критерий Фишера; ω^2 – омега квадрат, оценка силы влияния фактора)

Характеристики	Корреляционный анализ		Дисперсионный анализ		
	r_s	p	F	p	ω^2
Численность, тыс. экз.	0.66	<0.01	15.7	<0.01	0.23
Биомасса, г/м	0.54	<0.01	16.3	<0.01	0.23
Число видов на станции	0.72	<0.01	139.4	<0.01	0.73
Индекс Шеннона	0.34	0.09	106.0	<0.01	0.68
Индекс Симпсона	-0.19	0.53	470.0	<0.01	0.90

Таблица 6. Оценка качества вод р. Шуи и ее притоков по показателям макрозообентоса в зависимости от биотопа

Биотоп	Станции	Балл ИБС, среднее	Качество воды
Плесовые участки	1, 7, 8, 19	2.5	Посредственное
Малые притоки	20–24	4.0	Хорошее
Пороги крупных водотоков	2–6, 9–18, 25	4.6	Отличное

зированных вод Финноскандии это приводит к их закислению [26]. Притоки (реки Чална и Вилга), протекающие по территории населенных пунктов, могут быть загрязнены поверхностным стоком. Роль притоков в снижении качества вод ранее выявлена в р. Оби, где с их водосборов поступали органические вещества антропогенного происхождения и ионы тяжелых металлов [27]. Значения индексов, указывающие на низкое качество вод, выявлены для мягких грунтов, которые формируются на плесовых участках. Есть сведения, что плесовые участки рек – места накопления загрязняющих агентов в донных отложениях [47]. Вместе с тем макрозообентос мягких грунтов в реках часто отличается низким разнообразием от сообществ каменистых порогов и перекатов [4, 29]. Поэтому причина низких показателей качества вод также может скрываться в малом разнообразии биоты этого биотопа. Снижение баллов качества вод для мягких грунтов плесовых участков указывает на то, что локальные (в том числе и природные) факторы могут вносить большой вклад в значения индексов. Таким образом, при экспертизе качества вод по макрозообентосу необходимо учитывать особенности биотопа. Оценка, рассчитанная на основе данных только по плесовым участкам, может существенно снизить качество вод. Сообщества речных порогов и перекатов с каменистыми грунтами отличаются большим видовым богатством [12, 16]. По этой причине результаты оценки качества вод на основе макрозообентоса порожистых участков можно считать более полными и объективными, что обуславливает роль этого биотопа в биоиндикации и мониторинге.

По данным Государственной службы наблюдений (ГСН) Росгидромета, воды р. Шуи по химическим показателям соответствуют градации “слабо загрязненные” (2-й класс качества) [15], что не противоречит полученным в ходе настоящей работы выводам. Исследования качества вод в р. Шуе и ее притоках, проведенные в XX в., позволяют оценить долговременную динамику показателей загрязнения. Результаты обследования порожистых участков в верхнем, среднем и нижнем течении реки, выполненные в 1982 г. с использованием индексов Макарура, Вудивиса и Гутнайта–Уитлея [18], совпали с результатами настоящего исследования как по балльной оценке, так и по более высокому качеству вод в основном русле по сравнению с малыми водотоками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование показало, что экосистемы р. Шуи, испытывающие умеренное влияние хозяйственной деятельности человека, находятся в стабильном состоянии. Оценка экологического качества вод указывает на хорошее и

отличное состояние экосистем. Только плесовые участки отличаются низкими значениями индексов качества вод, что, впрочем, может быть следствием заниженных оценок вследствие особенностей биоты илистых грунтов. За последние 40 лет показатели экологического качества вод практически не изменились, что, по-видимому, связано с относительно низкой освоенностью территории водосбора и большой проточностью системы. Полученные данные убедительно свидетельствуют о том, что оценку экологического качества вод по биотическим показателям следует вести раздельно для плесовых участков, малых притоков и порогов в главном русле, а полученные значения индексов сравнивать только между аналогичными биотопами. Проведенное исследование показывает важность пороговых участков в биологическом мониторинге речных экосистем; их донные сообщества, отличаясь большим видовым разнообразием, позволяют объективно оценить экологическое качество вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андриянова А.В. Биотические индексы и метрики в оценке качества воды малых рек на территории природного парка “Ергаки” (юг Красноярского края) // Сиб. экол. журн. 2015. № 3. С. 439–451.
2. Атлас Карельской АССР. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совмине СССР, 1989. 40 с.
3. Атлас “Республика Карелия”. СПб.: 444 ВКФ, 2003. 136 с.
4. Барышев И.А. Зообентос плесовых участков порожистых водотоков: состав, обилие и трофическая структура (на примере Восточной Финноскандии) // Биология внутрен. вод. 2020. № 1. С. 57–66.
5. Барышев И.А. Макрозообентос рек Восточной Финноскандии. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. 46 с.
6. Барышев И.А. Современное состояние и долговременные изменения зообентоса порожистых участков реки Шуя и ее притока – реки Сяпса (Карелия, бассейн Онежского озера) // Тр. Гос. природ. заповедника “Кивач”. Вып. 6. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. С. 114–119.
7. Барышев И.А. Факторы формирования сообществ макрозообентоса каменистых порогов и перекатов водотоков Восточной Финноскандии // Журн. общ. биологии. 2014. Т. 75. № 2. С. 124–131.
8. Берсонов С.А. Водно-энергетический кадастр Карельской АССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 407 с.
9. Введение в биомониторинг пресных вод / Под ред. Т.С. Вишневской, Н.В. Иваненко, Л.В. Якименко, К.А. Дроздова. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2019. 214 с.
10. Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д. Биотические идентификаторы в оценке качества воды эталонной реки: сравнительный анализ биоиндикационных индексов реки Байтуган (Высокое Заволжье) //

- Уч. зап. Казанского ун-та. Сер. естественные науки. 2020. Т. 162. Кн. 1. С. 134–150.
11. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2019 г. / Под ред. А.Н. Громцева, О.Л. Кузнецова, Г.Т. Шкиперовой. Петрозаводск: М-во природ. ресурсов и экологии Республики Карелия, 2020. 248 с.
 12. Жадин В.И. Фауна рек и водохранилищ // Тр. Зоол. ин-та. 1940. Т. 5. Вып. 3–4. 992 с.
 13. Игнатьева Н.В., Петрова Т.Н., Гусева М.А. Оценка загрязненности поверхностных вод на территории водосборного бассейна Ладожского озера по гидрохимическим показателям // Изв. Самарского НЦ РАН. 2015. Т. 17. № 6. С. 91–96.
 14. Карелия. Энциклопедия. Т. 1. Петрозаводск: Петропрес, 2007. С. 68.
 15. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2018 / Под ред. М.М. Трофимчук. Ростов-на-Дону: ГХИ Росгидромета, 2019. 561 с.
 16. Комулайнен С.Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 182 с.
 17. Комулайнен С.Ф., Круглова А.Н., Барышев И.А. Формирование гидробиоценозов реки Сяпса (Бассейн Онежского озера) в условиях воздействия стоков форелевой фермы // Рыбоводство и рыб. хоз-во. 2007. Т. 2. С. 21–23.
 18. Кухарев В.И. Зообентос, как индикатор антропогенной нагрузки на водотоки бассейна реки Шуи // Элементы экосистемы Онежского озера и его бассейна. Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1984. С. 34–37.
 19. Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию. Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М: Геоэкология, 2006. 59 с.
 20. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2016. 300 с.
 21. Оценка численности постоянного населения на 1 января 2020 года и в среднем за 2019 г. М.: Росстат, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://showdata.gks.ru/report/278932/> (дата обращения: 13.04.2020)
 22. Ресурсы поверхностных вод СССР. Карелия и Северо-запад. 1972. Т. 2. 525 с.
 23. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод. Минск: Белорус. наука, 2010. 329 с.
 24. Смирнов Ю.А., Круглова А.Н., Комулайнен С.Ф., Хренников В.В., Широков В.А., Шустов Ю.А., Шуров И.Л. Влияние лесной и сельскохозяйственной мелиорации на элементы биологического режима рек Сяпси и Шуи // Биол. ресурсы внутр. водоемов и их использ.: Межвуз. сб. науч. тр. Петрозаводск: Петрозав. гос. ун-т, 1990. С. 89–96.
 25. Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Кучко Я.А., Комулайнен С.Ф., Савосин Е.С. Барышев И.А. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 127 с.
 26. Теканова Е.В., Калинкина Н.М., Кравченко И.Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 1. С. 90–100.
 27. Темерев С.В. Эколого-химическая оценка состояния водных систем бассейна Оби. Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М.: РУДН, 2008. 50 с.
 28. Чернов В.К. Результаты гидробиологического обследования рек Суны, Шуи, Лососинки и Косалмского протока // Тр. Бородинской биол. ст. 1927. Т. 5. С. 190–202.
 29. Чертопруд М.В. Разнообразие и классификация реофильных сообществ макробентоса средней полосы Европейской России // Журн. общ. биологии. 2011. Т. 72. № 1. С. 51–73.
 30. Широков В.А., Хренников В.В., Круглова А.Н. Влияние лесной и сельскохозяйственной мелиорации на биологический режим р. Шуи // Биол. и рыбохоз. исслед. Водоемов Прибалтики. Тез. докл. XXI науч. конф. по изучению и освоению водоемов Прибалтики и Белоруссии. Псков: Промрыбвод, 1983. Т. 1. С. 126–127.
 31. Электронный атлас Республика Карелия. [Электронный ресурс]. URL: <http://nwpi.krc.karelia.ru/atlas/> (дата обращения: 6.11.2020)
 32. Яковлев В.А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2005. Ч. 1. 161 с. Ч. 2. 145 с.
 33. AFNOR (Association Francaise de Normalisation) Essais des eaux. Determination de la biologie global normalise (IBGN) // AFNOR. NF T90-350. Paris, 1992.
 34. Armitage P.D., Moss D., Wright J.F., Furse M.T. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites // Water Res. 1983. V. 17. № 3. P. 333–347.
 35. De Pauw N., Vanhooren G. Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium // Hydrobiologia. 1983. V. 100. P. 153–168.
 36. Ghetti P.F. I macroinvertebrati nell'analisi dei corsi d'acqua. Indice Biotico: E.B.I. modificato. Manuale di applicazione. Trento: APAT, 1986. 111 p.
 37. Hammer Ø., Harper D., Ryan P. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. V. 4. Iss. 1. P. 1–9.
 38. Hilsenhoff W.L. An improved biotic index of organic stream pollution // Great Lakes Entomol. 1987. V. 20. № 1. P. 31–39.
 39. Khrennikov V.V., Baryshev I.A., Shustov U.A., Pavlov V.N., Ilmast N.V. Zoobenthos of salmon rivers in the Kola Peninsula and Karelia (north east Fennoscandia) // Ecohydrol. Hydrobiol. 2007. V. 7. № 1. P. 71–77.
 40. Lenat D.R. Water quality assessment using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates // J. North. Am. Benthological Soc. 1988. V. 7. P. 222–233.
 41. Li L., Zheng B., Liu L. Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Ap-

- proaches and Trends // *Procedia Environ. Sci.* 2010. V. 2. P. 1510–1524.
42. *Malaj E., Peter C., Grote M., Kühne R., Mondy C.P., Usseglio-Polatera P., Brack W., Schäfer R.B.* Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale // *Proc. National Acad. Sci.* 2014. V. 111 (26). P. 9549–9554.
43. *Metcalf J.L.* Biological Water Quality Assessment of Running Waters Based on Macroinvertebrate Communities: History and Present Status in Europe // *Environ. Pollution.* 1989. V. 60. P. 101–139.
44. *Oertel N., Salánki J.* Biomonitoring and Bioindicators in Aquatic Ecosystems // *Modern trends in applied aquatic ecology* / Eds *R.S. Ambasht, N.K. Ambasht.* N. Y.: Kluwer Acad/Plenum Publ., 2003. P. 219–246.
45. *Rosenberg D.M., Resh V.H.* Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. N. Y.: Chapman and Hall, 1993. 488 p.
46. *Sabylina A.V., Lozovik P.A., Zobkov M.B.* Water chemistry in Onega lake and its tributaries // *Water Resour.* 2010. T. 37. № 6. C. 842–853.
47. *Slukovskii Z.I., Polyakova T.N.* Analysis of accumulation of heavy metals from river bottom sediments of the urban environment in the bodies of Oligochaetes // *Inland Water Biol.* 2017. T. 10. № 3. C. 315–322.
48. *Soininen J., Könönen K.* Comparative study of monitoring South-Finnish rivers and streams using macroinvertebrates and benthic diatom community structure // *Aquatic Ecol.* 2004. V. 38. P. 63–75.
49. *Worff D.L.* Biological monitoring for environmental effects. Toronto: Lexington Books, 1980. 227 p.