

Гидрометеорология и экология. 2026. № 84. С. 488—497.

Hydrometeorology and Ecology. 2026;(84):488—497.

ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 574.1:639.21(285.212)

doi: 10.33933/2713-3001-2026-84-488-497

Оценка динамики разнообразия рыбных запасов озера Ильмень

***Григорий Тевелевич Фрумин¹, Елена Сергеевна Васильева²,
Наталья Львовна Болотова³***

¹ Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия, gfrumin@mail.ru

² Новгородский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (НовгородНИРО), Великий Новгород, Россия

³ Вологодский государственный университет, Вологда, Россия

Аннотация. В статье обсуждается актуальная проблема оценки динамики биологического разнообразия на примере промысловых рыбных запасов озера Ильмень. Изменение структуры рыбной части озерного сообщества прослежено на материалах ихтиологических исследований и данных рыбопромысловой статистики за период с 1975 г. по 2024 г. Целью данного исследования являлся сравнительный анализ информативности разных индексов биоразнообразия рыбных запасов озера Ильмень. Для расчетов использованы следующие индексы: индекс Шеннона (H), индекс Шелдона (SH), индекс Пиелу (E), индекс доминирования Симпсона (C) и индекс разнообразия Симпсона (D). Установлено, что наиболее информативным индексом для оценки разнообразия рыбных запасов в озере Ильмень является индекс Пиелу.

Ключевые слова: озеро Ильмень, рыбные запасы, индексы разнообразия.

Для цитирования: Фрумин Г. Т., Васильева Е. С., Болотова Н. Л. Оценка динамики разнообразия рыбных запасов озера Ильмень // Гидрометеорология и экология. 2026. № 84. С. 488—497. doi: 10.33933/2713-3001-2026-84-488-497.

Original article

Assessment of the dynamics of diversity of fish population of lake Ilmen

Grigory T. Frumin¹, Elena S. Vasilyeva², Natalia L. Bolotova³

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia

² Novgorod branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (NovgorodNIRO)

³ Vologda State University

Summary. Lake Ilmen is a large fishery reservoir. The main morphometric indicators of Lake Ilmen are presented. This article discusses the pressing issue of assessing biodiversity dynamics using the commercial fish population of Lake Ilmen as an example. Changes in the structure of the lake's fish community are traced using ichthyological studies and fishery statistics for the period 1975—2024. For the mathematical and statistical analysis, the primary dataset on commercial fish catches was divided into five-year periods. Despite the selectivity of the fishery, the catch structure in long-term observation series adequately reflects the dynamics of the fish population and changes in its species diversity, represented by the composition of catches and the ratio of biomasses of different fish species. However, the reliability of assessing the trend of diversity decline remains controversial when using various biodiversity indices. The aim of this study was to comparatively analyze the information content of various biodiversity indices for the fish population of Lake Ilmen. This article presents the results of calculating five indices of fish population diversity in Lake Ilmen for the period 1975—2024. The following indices were used in the calculations: the Shannon index (H), the Sheldon index (SH), the Pielou index (E), the Simpson dominance index (C), and the Simpson diversity index (D). Regression equations were constructed between the indices and fishing seasons, and their statistical characteristics were determined. The Pielou index was found to be the most informative index for assessing fish population diversity in Lake Ilmen.

Keywords: Lake Ilmen, fish population, diversity indices.

For citation: Frumin G. T., Vasilyeva E. S., Bolotova N. L. Assessment of the dynamics of diversity of fish population of lake Ilmen. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2026;(84):(488—497). doi: 10.33933/2713-3001-2026-84-488-497. (In Russ.).

Введение

Актуальность проблемы сохранения и оценки биоразнообразия рассмотрена во многих публикациях [1—5]. Для выявления состояния водных экосистем в условиях хронического антропогенного пресса адекватным показателем служит изменение биоразнообразия рыбных запасов как верхнего трофического уровня. Изменение рыбной части сообщества наглядно выражено в мелководных озерах, характеризующихся быстрым ухудшением качества воды, высокой прогреваемостью на фоне потепления климата и для которых сильное воздействие промысла связано с возможностью облова всей акватории [6]. К таким озерам относится крупный рыбохозяйственный водоем — озеро Ильмень в Новгородской области.

Озеро Ильмень расположено в центре обширной Приильменской низины с координатами 58°16' с.ш., 31°17' в.д. Это мелководное озеро с плоским дном, сложенным 9—10 метровой толщей ила (табл. 1) [7].

Основные морфометрические показатели озера Ильмень

Main morphometric parameters of Lake Ilmen

Показатели	Значение
Высота над уровнем моря, м	20
Площадь зеркала, км ²	1090—1200
Объем водной массы, км ³	2,9—3,5
Средняя глубина, м	2
Максимальная глубина, м	4
Время водообмена, лет	0,25
Площадь водосбора, км ²	67200

Среди рыбопромысловых водоемов Северо-Запада озеро Ильмень отличается высокой продуктивностью. Так, в 1970—1980 гг. вылов достигал до 3,0—3,5 тыс. т рыбы (25—30 кг/га), а в настоящее время объемы промышленной рыбодобычи уловы составляют до 2 тыс. т [8]. Среди благоприятных условий для формирования ихтиофауны озера Ильмень можно выделить его выгодное географическое положение и гидрологическую сеть, обеспечившую связь с Ладожским озером, а также лимнологические особенности, связанные с обширной поймой и разнообразием биотопов. Ядро ихтиофауны формируют представители понтокаспийского фаунистического комплекса (лещ, судак, чехонь, синец и др.), а также присутствуют холодолюбивые представители бореального комплекса (снеток, налим). Здесь обитают как реофильные виды (жерех, язь, сырть), так и представители малопроточных вод (линь, карась). Наблюдаемые сдвиги в структуре рыбных запасов озер происходят под влиянием изменения условий обитания и воспроизводства вследствие процессов эвтрофирования, загрязнения и потепления климата [8, 9].

К настоящему времени предложено более 40 индексов, предназначенных для оценки биоразнообразия. В [4] отмечаются трудности в применении показателей разнообразия, в частности связанные с отсутствием объективной шкалы отсчета разнообразия наряду с субъективным характером выбора индексов для исследований, поэтому неоднозначным вопросом остается достоверность оценки изменения разнообразия рыбной части сообщества при применении разных индексов биоразнообразия.

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы являлся сравнительный анализ применения разных индексов биоразнообразия для оценки динамики разнообразия рыбных запасов озера Ильмень по данным рыбопромысловой статистики за пятидесятилетний период.

Методика исследования

В работе использована информация из опубликованных источников, фондов Новгородского филиала ФГБНУ «ВНИРО», а также материалы официальной рыбопромысловой статистики Северо-Западного территориального управления Росрыболовства за период с 1975 г. по 2024 г. Обработка материалов выполнена с использованием программы Excel.

Для математико-статистического анализа изменения состава уловов рыб массив первичных данных рыбопромысловой статистики за период с 1975 г. по 2024 г. был разделен на пятилетние периоды (табл. 2).

Таблица 2

Периодизация статистики рыбодобычи в озере Ильмень

Periodization of fishing statistics in Lake Ilmen

Период (τ)	Годы	Период (τ)	Годы
1	1975—1979	6	2000—2004
2	1980—1984	7	2005—2009
3	1985—1989	8	2010—2014
4	1990—1994	9	2015—2019
5	1995—1999	10	2020—2024

Для количественной оценки изменения разнообразия рыбных запасов озера Ильмень по каждому пятилетнему периоду показателей рыбодобычи использованы пять следующих индексов биоразнообразия: индекс Шеннона (H), индекс Пиелу (E), индекс Шелдона (SH), индексы Симпсона: индекс доминирования (C) и индекс разнообразия (D) [10] (табл. 3).

Таблица 3

Индексы биоразнообразия,

использованные для оценки разнообразия рыбных запасов озера Ильмень

Biodiversity indices used to assess the diversity of the fish population of Lake Ilmen

Индекс	Формула
Шеннона (H)	$H = -\sum p_i \log_2 p_i$, p_i — доля вида
Шелдона (SH)	$SH = \exp(H)$
Пиелу (E)	$E = H / \log_2 S$, S — число видов
Симпсона (доминирования) (C)	$C = \sum p_i^2$
Симпсона (разнообразия) (D)	$D = 1/C$

Расчет индексов биоразнообразия базировался на предварительной оценке величин доли вылова каждого вида рыб — p_i (табл. 4).

Таблица 4

Соотношение биомассы разных видов рыб в уловах озера Ильмень за пятилетние периоды с 1975 г. по 2024 г.

The ratio of biomass of different fish species in catches of Lake Ilmen for 5-year periods from 1975 to 2024

Период	Судак	Щука	Лещ	Густера	Синец	Чехонь	Окунь	Плотва	Снеток	Прочие
1	0,027	0,075	0,279	0,003	0,170	0,040	0,004	0,061	0,181	0,160
2	0,042	0,133	0,340	0,000	0,438	0,009	0,000	0,023	0,015	0,000
3	0,053	0,124	0,320	0,005	0,249	0,026	0,014	0,086	0,016	0,107
4	0,041	0,123	0,343	0,020	0,313	0,002	0,021	0,065	0,071	0,001

Окончание табл. 4

Период	Судак	Щука	Лещ	Густера	Синец	Чехонь	Окунь	Плотва	Снеток	Прочие
5	0,040	0,079	0,328	0,036	0,295	0,001	0,046	0,100	0,072	0,001
6	0,052	0,069	0,270	0,055	0,320	0,033	0,041	0,082	0,041	0,038
7	0,080	0,075	0,275	0,056	0,273	0,052	0,037	0,071	0,040	0,041
8	0,049	0,081	0,233	0,092	0,284	0,040	0,059	0,104	0,004	0,054
9	0,030	0,082	0,261	0,105	0,288	0,058	0,058	0,094	0,003	0,023
10	0,035	0,094	0,252	0,120	0,254	0,067	0,066	0,075	0,021	0,017

Результаты исследований

Для сравнительного анализа динамики видового разнообразия рыбных запасов озера Ильмень были проведены расчеты с использованием пяти индексов, применяемых в оценке биоразнообразия сообществ экосистем (табл. 5).

Таблица 5

Показатели изменения разнообразия рыбных запасов озера Ильмень
Indicators of change in the diversity of the fish population of Lake Ilmen

Годы	Индексы разнообразия				
	<i>H</i>	<i>SH</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
1975—1979	2,73	15,33	0,18	5,65	0,82
1980—1984	1,91	6,75	0,33	3,05	0,68
1985—1989	2,63	13,87	0,20	4,94	0,79
1990—1994	2,40	11,02	0,24	4,12	0,72
1995—1999	2,53	12,55	0,22	4,51	0,76
2000—2004	2,77	15,96	0,20	5,05	0,83
2005—2009	2,87	17,64	0,18	5,63	0,86
2010—2014	2,85	17,29	0,17	5,84	0,86
2015—2019	2,76	15,80	0,19	5,40	0,83
2020—2024	2,88	17,81	0,17	5,98	0,87

Для выбора наиболее информативного индекса биоразнообразия, отражающего тренд изменения видового разнообразия рыбных запасов озера Ильмень, были построены регрессионные уравнения между индексами и периодами рыбодобычи, а также определены их статистические характеристики (табл. 6).

Таблица 6

Регрессионные уравнения и статистические характеристики индексов биоразнообразия, отражающие изменения разнообразия рыбных запасов озера Ильмень

Regression equations and statistical characteristics of biodiversity indices reflecting changes in the diversity of the fish population of Lake Ilmen

Регрессионные уравнения	Статистические показатели				
	<i>n</i>	σ	<i>r</i>	<i>Fp</i>	<i>Fp/F_r</i>
$H = 2,30 + 0,061 \cdot \tau$	10	0,25	0,62	5,0	0,9
$SH = 10,20 + 0,76 \cdot \tau$	10	2,77	0,66	6,3	1,2

Регрессионные уравнения	Статистические показатели				
	n	σ	r	Fp	Fp/F_T
$C = 0,26 + 0,009 \cdot \tau$	10	0,04	0,54	3,3	0,6
$D = 4,05 + 0,18 \cdot \tau$	10	0,78	0,58	4,1	0,8
$E = 0,72 + 0,01 \cdot \tau$	10	0,05	0,67	6,6	1,3

Примечание: τ — период, n — количество периодов, σ — стандартная ошибка, r — коэффициент корреляции, Fp — расчетное значение критерия Фишера, F_T — табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05 %.

Наилучшее уравнение должно иметь наибольшее значение расчетного критерия Фишера и наибольший коэффициент детерминации. Сформулированным условиям в наибольшей степени соответствует индекс Пиелу. Индекс выравненности Пиелу (E) указывает, насколько равномерно распределена относительная численность особей в сообществе рыб при определённом количестве видов.

В публикации по сравнительному анализу ихтиофауны притоков в озеро указано низкое значения индекса Пиелу (0,5) на основании исследовательских уловов в 2020—2021 гг. в озере Ильмень за счет резкого преобладания массовых лимнофильных видов — плотвы и окуня [9]. В этом озере за период с 1975 г. по 2024 г. индекс Пиелу варьировался в интервале 0,70—0,87. Низкие значения показателя свидетельствуют о дисбалансе, который демонстрирует резкие отличия в численности видов. Зафиксирован положительный тренд индекса Пиелу за пятидесятилетний период по данным уловов (рис. 1). Очевидно, это связано с изменением организации промысла, что детально проанализировано в обзоре по истории промышленного рыболовства на озере Ильмень [11].

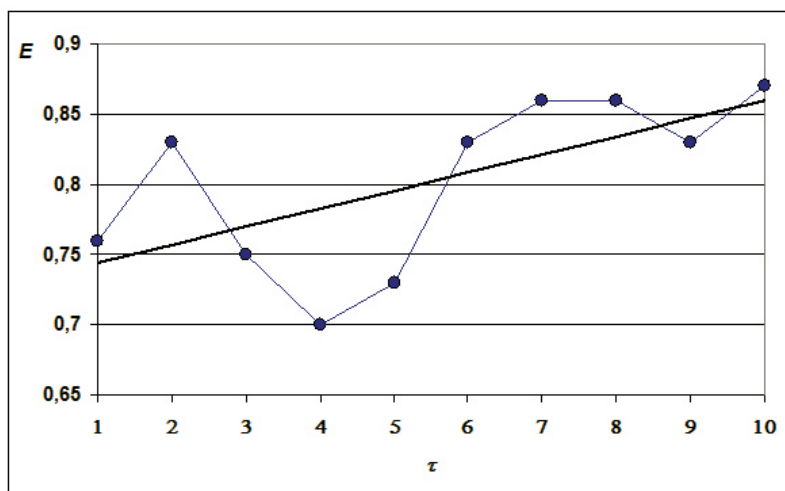


Рис. 1. Динамика индекса биоразнообразия Пиелу рыбных запасов озера Ильмень.

Fig 1. Dynamics of the Pielu biodiversity index of the fish population of Lake Ilmen.

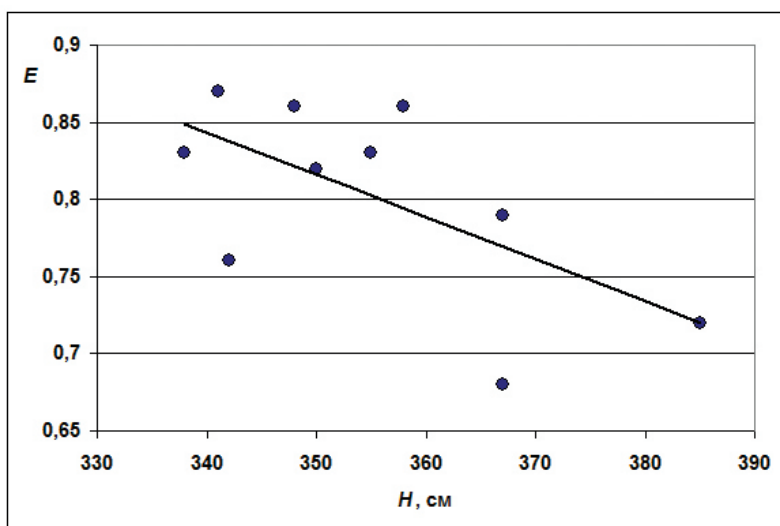


Рис. 2. Соотношение между индексами Пиелу и уровнями воды (H) в озере Ильмень.

Fig 2. The relationship between the Pielu indices and water levels in Lake Ilmen.

Низкое значение индекса Пиелу, свидетельствующее о сильном доминировании одних видов над другими, может характеризовать больший уровень адаптационных возможностей некоторых видов к условиям природных и техногенных воздействий (рис. 2).

Линия регрессии, приведенная на рис. 2, описывается следующим уравнением:

$$E = 1,77 + 0,0027 \cdot H \quad (1)$$

$$n = 10 \quad r = 0,63 \quad r^2 = 0,39 \quad \sigma = 0,05 \quad F_p = 5,18 \quad F_T = 5,12 \quad F_p/F_T = 1,01$$

Согласно шкале Чеддока [13] теснота связи между индексами Пиелу и уровнями воды в озере Ильмень характеризуется как «заметная» ($r = 0,63$). Озеро отличается уровнем режимом от других крупных озер России. Для него свойственна большая амплитуда колебаний, которая достигает 650—747 см, среднемноголетняя — 314 см. Эти изменения площади и объема водной массы определяют условия нереста и нагула молоди рыб и играют важную роль в динамике их численности [10].

Существенные колебания уровня воды отражаются на ведении промысла. Его эффективность возрастает при понижении уровня воды, что соответственно увеличивает концентрации рыбы на единицу площади, а при высоком уровне — снижается. Для мелководных озер, к которым относится Ильмень, приоритетным фактором изменения рыбной части сообщества служит эвтрофирование. Одним из основных показателей продвинутого процесса эвтрофирования является увеличение содержания в воде фосфора, поэтому была исследована связь индексов разнообразия и концентрации фосфора общего по имеющимся данным за период с 2000 г. по 2024 г. (табл. 7).

Таблица 7

Концентрации фосфора общего и индексы Пиелу в озере Ильмень

Total phosphorus concentrations and Pielu indices in Lake Ilmen

Годы	2000—2004	2005—2009	2010—2014	2015—2019	2020—2024
Фосфор общий, $P_{\text{общ}}$, мкг/дм ³	64	69	63	60	77
Индекс Пиелу	0,83	0,86	0,86	0,83	0,87

Зависимость индексов Пиелу от концентраций фосфора общего выражается следующим уравнением:

$$E = 0,707 + 0,002P_{\text{общ}} \quad (2)$$

$$n = 5 \quad r = 0,76 \quad r^2 = 0,58 \quad \sigma = 0,01 \quad F_p = 4,18 \quad F_T = 7,71 \quad F_p/F_T = 0,54$$

Поскольку $r = 0,76$, теснота связи между E и $P_{\text{общ}}$ характеризуется как «высокая».

В период с 2000 г. по 2024 г. в воде озера отмечались высокие концентрации фосфора общего (средняя величина 67 мкг/дм³), что по принятым критериям характеризует трофический статус водоема как эвтрофный [12]. Известным следствием эвтрофирования являются изменения рыбных запасов водоемов, включая уменьшение численности, затем исчезновение наиболее требовательных к качеству воды видов рыб, а также снижение рыбопродуктивности водоема или отдельных его зон, переход водоема из одного рыбохозяйственного типа в другой.

Рассчитанный коэффициент корреляции между индексами Пиелу и температурами воды озера Ильмень за период с 2000 г. по 2024 г. (по пятилеткам) равен 0,61. Это значение характеризует тесноту связи между указанными переменными как «заметное» [13].

Заключение

Впервые для озера Ильмень проведена оценка динамики разнообразия рыбных запасов по многолетним рядам рыбопромысловой статистики за пятидесятилетний период (1975—2024 гг.). Для количественной оценки биоразнообразия использованы пять следующих индексов: индекс Шеннона (H), индекс Пиелу (E), индекс Шелдона (SH), индекс Симпсона — индекс доминирования (C) и индекс Симпсона — индекс разнообразия (D). Установлено, что наиболее информативным индексом для оценки биоразнообразия в озере Ильмень является индекс Пиелу. Индекс выравнивания Пиелу (E) показывает, насколько равномерно распределена относительная численность особей в сообществе рыб при определённом количестве видов. Низкие значения показателя индекса Пиелу (0,68—0,87) свидетельствуют о дисбалансе, отражающем резкие отличия численности видов, увеличение доминирования и упрощение рыбной части сообщества. Теснота связи между индексами Пиелу и уровнями воды в озере Ильмень характеризуется как «заметная» (коэффициент корреляции $r = 0,63$). Средняя концентрация фосфора общего (растворенного) в воде за период с 2000 г. по 2024 г. увеличилась от 64 до 77 мкг/дм³, что характеризует трофический статус озера в настоящее время как эвтрофный. Таким образом, основными факторами, определяющими динамику

разнообразие рыбных запасов в озере Ильмень, являются специфика уровня режима и ускорение процессов эвтрофирования.

Список литературы

1. Бродский А. К. Биоразнообразие: структура, проблемы и перспективы сохранения // Аспекты биоразнообразия: Сборник трудов Зоологического музея МГУ им. М. В. Ломоносова. Т. 54(1). М.: Товарищество научных изданий КМК. 2016. С. 380—396.
2. Захаров В. М., Трофимов И. Е. Оценка состояния биоразнообразия: исследование стабильности развития. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2019. 160 с.
3. Шайхутдинова А. А. Методы оценки биоразнообразия: методические указания. Оренбург: ОГУ, 2019. 37 с.
4. Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Количественные методы экологии и гидробиологии. Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. С. 91—129.
5. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 288 с.
6. Болотова Н. Л., Степанов М. В., Фрумин Г. Т., Болотов О. В. Динамика рыбного населения крупных озер Вологодской области. / Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы V Международной научной конференции. Минск: Издательский центр БГУ, 2016. С. 283—284.
7. Румянцев В. А., Драбкова В. Г., Измайлова А. В. Озера европейской части России. СПб.: ЛЕМА, 2015. 392 с.
8. Васильева Е. С., Бондарь Р. А. Промышленное рыболовство на озере Ильмень Новгородской области: динамика уловов в XX веке и современное состояние промысла // Вопросы рыболовства. 2024. Том 25. №3. С. 37—54. <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2024-25-3-37-54>.
9. Фрумин Г. Т., Михалап С. Г. Оценка динамики разнообразия рыбного населения Псковского озера // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 2. С. 91—100. doi: 10.17076/lim2058.
10. Быков А. Д., Тыркин И. А., Образов В. В., Бондарь Р. А. Оценка состояния ихтиофауны нижнего течения рек и пойменных водоемов бассейна озера Ильмень по данным учета мелкочаеистыми орудиями лова в 2020—2021 годах // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 73—87. doi: 10.17076/eco1601.
11. Озеро Ильмень / Природные ресурсы больших озёр СССР и вероятные их изменения. Кириллова В. А. Ленинград. 1984. С. 81—104.
12. OECD. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control, OECD, Paris, 1982: 154 p.
13. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.

References

1. Brodsky A. K. Biodiversity: structure, problems and conservation prospects. *Aspekty bioraznoobraziya: Sbornik trudov Zoologicheskogo muzeya MGU im. M. V. Lomonosova = Aspects of biodiversity: Collection of works of the Zoological Museum of Moscow State University. M. V. Lomonosov*. Vol. 54(1). Moscow: KMK Scientific Publications Partnership. 2016: 380—396. (In Russ.).
2. Zakharov V. M., Trofimov I. E. Assessment of the state of biodiversity: a study of development stability. *M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK = Moscow: KMK Scientific Publications Partnership*. 2019: 160 p. (In Russ.).
3. Shaikhutdinova A. A. *Metody otsenki bioraznoobraziya: metodicheskiye ukazaniya = Methods of biodiversity assessment: guidelines*. Orenburg: OSU. 2019: 37 p.
4. Shitikov V. K., Rosenberg G. S. *Otsenka bioraznoobraziya: popytka formal'nogo obobshcheniya. Kolichestvennyye metody ekologii i gidrobiologii Biodiversity assessment: an attempt at formal generalization = Quantitative methods of ecology and hydrobiology*. Tolyatti: Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2005; (91—129). (In Russ.).
5. Pesenko Yu. A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh = Principles and methods of quantitative analysis in faunistic studies*. Moscow: Nauka. 1982: 288 p. (In Russ.).

6. Bolotova N. L., Stepanov M. V., Frumin G. T., Bolotov O. V. Dynamics of fish population of large lakes of the Vologda region. Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii = Proceedings of the V International Scientific Conference*. Minsk: Publishing Center of BSU, 2016; (283—284). (In Russ.).
7. Rumyantsev V. A., Drabkova V. G., Izmailova A. V. *Ozera yevropeyskoy chasti Rossii = Lakes of the European part of Russia*. St. Petersburg: LEMA. 2015: 92 p. (In Russ.).
8. Vasilyeva E. S., Bondar R. A. Industrial fisheries on Lake Ilmen in the Novgorod region: catch dynamics in the 20th century and the current state of the fishery. *Voprosy rybolovstva = Questions of Fisheries*. 2024; 5(3): (37—54). <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2024-25-3-37-54>. (In Russ.).
9. Frumin G. T., Mikhlap S. G. Assessment of the dynamics of diversity of the fish population of Lake Pskov. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2025; (2): (91—100). doi: 10.17076/lim2058. (In Russ.).
10. Bykov A. D., Tyrkin I. A., Obrazov V. V., Bondar R. A. Assessment of the state of the ichthyofauna of the lower reaches of rivers and floodplain water bodies of the Lake Ilmen basin based on small-mesh fishing gear surveys in 2020—2021. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022; (8): (73—87). doi: 10.17076/ecol601. (In Russ.).
11. Kirillova V. A. *Ozero Il'men'. Prirodnyye resursy bol'shikh ozor SSSR i veroyatnyye ikh izmeneniya = Lake Ilmen. Natural resources of large lakes of the USSR and their probable changes*. Leningrad. 1984; (81—104). (In Russ.).
12. OECD. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. OECD. Paris, 1982: 154 p.
13. Makarova N. V., Trofimets V. Ya. *Statistika v Exel = Statistics in Excel*. Moscow: Finance and Statistics. 2002: 368 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Фрумин Григорий Тевелевич, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории факультета географии Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена, gfrumin@mail.ru.

Васильева Елена Сергеевна, руководитель Новгородского филиала ФГНУ «ВНИРО», novgorod@vniro.ru.

Болотова Наталья Львовна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биологии и химии Вологодского государственного университета, bolotova.vologda@mail.ru.

Information about authors

Grigory T. Frumin, dr. Sci. in Chemistry, prof., Leading Researcher, Research Laboratory of the Faculty of Geography, Herzen State Pedagogical University of Russia.

Vasilyeva Elena Sergeevna, head of the Novgorod branch of the Federal State Scientific Institution “VNIRO”.

Bolotova Natalia Lvovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Biology and Chemistry of the Vologda State University.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 07.05.2026

Принята в печать 11.07.2026

The article was received on 07.05.2026

The article was accepted on 11.07.2026