

УДК 574.583

## АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОЗЕРО ВЕЛЬЁ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ

Перепелкин Вячеслав Викторович,  
Анисимов Алексей Сергеевич,  
Каурова Злата Геннадьевна

*Работа обобщает гидробиологические и гидрохимические исследования оз. Вельё, расположенного на территории национального парка «Валдайский». Согласно результатам гидрохимического анализа воды, в зонах рекреационного использования акватории и побережья озера Вельё содержание биогенных веществ превышает фоновые значения. По данным, полученным в результате санитарно-микробиологического анализа, на исследуемых участках отмечено более высокое содержание сапрофитных бактерий и бактерий кишечной группы (БГКП), чем в центральной части озера. Соотношение общего числа сапрофитных бактерий, а также индекс Карлсона (TSI), рассчитанный по ряду параметров, позволяют говорить об ускорении процессов эвтрофикации на участках водоема, используемых для рекреации. Результаты проведенного ретроспективного анализа количественных показателей мезопланктона системы озера Вельё в период с 1902 по 2023 гг., а также современные данные о видовом составе и численности высших водных растений, позволяют отнести оз. Вельё к категории мезотрофных водоемов с высоким риском эвтрофикации.*

**Ключевые слова:** Лимнология, эвтрофирование, биоиндикация, мезозoopланктон, высшие водные растения, бактериопланктон, Валдай, озеро Вельё.

Введение: Проблема антропогенного эвтрофирования водных объектов занимает центральное место в современной гидроэкологии. Выявление ускорения процессов эвтрофикации является важным направлением исследований для предотвращения практически необратимого гиперэвтрофного состояния водоемов и их деградации [12].

На Северо-Западе России особую роль источника качественных питьевых ресурсов для населения играют водоемы и водотоки Валдайской возвышенности, к которым относится и озеро Вельё [13]. Как и ряд других рек и озер национального парка «Валдайский» это озеро относится к категории средних по величине и площади водосбора, что делает его уязвимым перед влиянием хозяйственной деятельности человека [13]. Акваторию оз. Вельё и сопряженную с ним систему прудов более 100 лет используют в рыбохозяйственных целях, и сбалансированное водопользование на протяжении этого срока не наносило существенного ущерба экосистеме озера [8, 13].

Однако в последние годы с развитием внутреннего туризма берега озера стали активно застраиваться, возросла площадь участков, занятых под рекреационную деятельность. Вместе с этим увеличивается и антропогенная нагрузка на водоем [13]. Особую актуальность приобретают в этой связи организация комплексных мониторинговых исследований водных экосистем с целью контроля их экологического состояния.

Необходимыми этапами при выявлении элементов эвтрофикации является проведение гидрохимических и санитарно-микробиологических анализов. По гидрохимическим показателям вод можно судить о содержании в воде лабильного органического вещества и насыщенности водоемов биогенными элементами, избыток которых обуславливает ускорение процессов эвтрофикации [11]. По изменению количественных показателей бактериопланктона можно судить о санитарном состоянии водоема и его способности к самоочищению [10].

Для обеспечения комплексности и всесторонней оценки экологического состояния водных объектов удобно использовать методы биоиндикации наряду с гидрохимическими и

микробиологическими методами [8, 15]. В данной работе применяются данные о современном состоянии сообщества высших водных растений и мезозoopланктона (Copepoda и Cladocera). Кроме того, наличие данных по изменению сообщества мезозoopланктона с 1902г. косвенно позволяет оценить интенсивность протекания процессов эвтрофикации (по мере освоения побережья озера) [8].

Цель работы – оценить трофический статус и интенсивность эвтрофикации озера Вельё на основании гидрохимических и комплексных гидробиологических данных.

Задачи:

3. Провести анализ гидрохимических, санитарно-микробиологических данных и трофического индекса Карлсона (TSI) озера Вельё;

4. Провести сравнение и анализ индекса Андрониковой на основе данных о мезозoopланктоне 1902 - 2023гг. озера Вельё;

5. Провести расчет индексов MTR, MIR на основе данных о высших водных растениях озера Вельё.

Экспериментальная часть: Отбор проб проводился в период открытой воды 2023 года на станциях в акватории оз. Вельё [8, 9, 14]. Особое внимание уделялось станциям, находящимся в непосредственной близости к районам, которые используются или планируются к использованию в рекреационных целях. Основные точки исследования отображены на Рисунок 1.

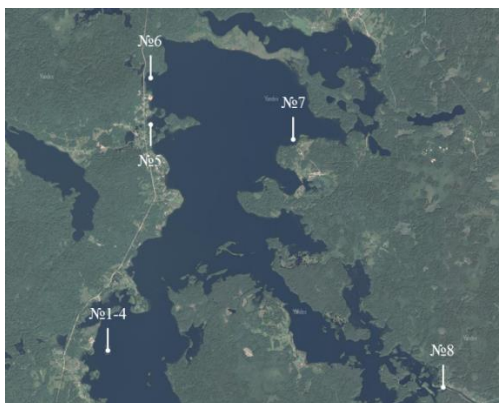


Рисунок 5. Расположение основных станций отбора проб на озере Вельё (№1-8)

Пробы для гидрохимических параметров отбирались батометром Молчанова (ГР-18) интегрально в столбе воды. Отбор проб осуществлялся в трехкратной повторности согласно общим требованиям (ГОСТ Р 59024-2020) [3]. Прозрачность определялась с помощью диска Секки. Все гидрохимические измерения проводились стандартными методами согласно РД 52.18.595-96 [4].

Пробы воды для определения микробиологических показателей отбирались в стеклянную стерильную посуду с учетом требований ГОСТ 31942-2012 (ISO 19458:2006) [3]. Учет микроорганизмов производился с использованием аттестованных микробиологических тест-систем «Петритест». Отбор проб воды для определения массовой концентрации хлорофилла «а» проводился в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 и РД 52.24.784-2013 [3, 5]. По данным прозрачности, концентрации фосфора и хлорофилла рассчитывался трофический индекс Карлсона (TSI) [11].

Пробы высших водных растений отбирались трехкратно на литорали и sublиторали озера Вельё на станциях 5-8. Для сбора макрофитарного материала использовался маршрутно-рекогносцировочный метод [15]. Для определения проективного покрытия и отбора откосов в группировках всех экологических групп растений применялся квадрат площадью 1м<sup>2</sup>. На основании данных о высших водных растениях рассчитывались индексы MTR (средний уровень трофии) и MIR (макрофитарный индекс для рек), широко используемые для оценки водоемов в климатических условиях Северной и Восточной Европы [15]. Применение индекса для речных систем является допустимым решением, так как озеро Вельё является проточным [14].

Пробы планктона отбирались с использованием планктонной сети Апштейна с размером ячеи 100 мкм на станциях 5-6 (на литорали озера Вельё). Отбор, фиксация и подсчет зоологического материала проводился согласно руководству по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений [5]. По данным зоопланктона рассчитывался индекс Андрониковой (соотношение видов *Sorperoda* и *Cladocera*) [8].

Результаты: В озере Вельё концентрация растворенного кислорода в пробах воды всех исследуемых станций в 2023 г. в столбе воды не опускалась ниже 6 мг.О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Таким образом, кислородный режим изучаемых гидроэкосистем в период открытой воды можно считать удовлетворительным для развития гидробионтов [1, 9].

Водородный показатель (рН) вод исследуемых гидроэкосистем изменялся от 6,94 до 7,99. В соответствии с классификацией вод по водородному показателю, воды исследуемых водных объектов относятся к нормальным [1].

Значение биологического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) для вод озера Вельё составило 2,1 мг.О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, что не превышало установленного норматива [1].

Ионы аммония, нитриты, нитраты, ионы меди в пробах воды со всех станций пяти изучаемых водных объектов не обнаруживались на уровне чувствительности метода.

В пробах воды из озера Вельё, взятых на выделенных в озере рыбохозяйственных участках, и с контрольной станции, расположенной вне источников антропогенного влияния, концентрация фосфатов также не превышала ПДК и колебалась от 0,082 мг/дм<sup>3</sup> (на контрольной станции) до 0,145 мг/дм<sup>3</sup> (на станции 2 близ садков) [1].

Однако пробы воды со станций 5 и 6 характеризовались концентрацией фосфат-ионов, превышающей предельно допустимые значения в 1,17 и 1,11 раза соответственно. Данные станции находились в селитебной зоне, и акватория на этих участках активно использовалась в рекреационных целях (автотуризм, купание, рыбная ловля, хозяйственное огородничество).

Согласно рассчитанному индексу Карлсона (TSI) озеро Вельё имеет статус эвтрофного водоема [11]. Значение индекса (TSI) изменяется от 55,22 до 57,5, кроме контрольной станции 7.

В пробах воды из озера Вельё величина общей численности бактерий колебалась в пределах от 2,2 млн. кл/мл (станция 1) до 4,1 млн. кл/мл (станция 4) в столбе воды. Средняя величина составила 3,3 млн. кл/мл.

Развитие бактерий в аэрируемой толще воды, эпилимнионе, зависит в первую очередь от наличия органических субстратов как автохтонного, так и аллохтонного происхождения. Поэтому анализ количественных показателей развития бактериопланктона демонстрирует их явную зависимость от продуктивности (трофического статуса) водоема. С другой стороны, количественные показатели развития микробного сообщества помогают оценить возможности водоема к самоочищению.

Учитывая микробиологические показатели, можно оценить озеро Вельё в целом как мезотрофное [10]. Однако, следует отметить активно протекающие процессы эвтрофирования на участках, связанных с рекреационной деятельностью, так как на этих участках возрастает число микроорганизмов санитарно-значимых групп. Их численность в 1.57-2.34 раза выше, чем в центральной части озера. Также, уменьшается соотношение между общей численностью бактерий и численностью сапрофитов. На станциях 5-6 оно составляет 0.971-1.000, что указывает на снижение возможности водоема к самоочищению на этих участках акватории [10].

В сообществе мезозоопланктона на станциях 5 и 6 отмечено доминирование первичных фильтраторов относящихся к надотряду ветвистоусые (*Cladocera*) [8]. Виды *Cladocera* по сравнению с *Sorperoda* обладают большим репродукционным потенциалом, способны к партеногенезу и, как следствие, преобладают над *Sorperoda* в озерах эвтрофного типа [8].

По соотношению крупных таксономических групп был рассчитан индекс Андрониковой (NClad/NCop), который составил 23.7 ±12.1 [8]. Данные значения характерны для водоемов с эвтрофным статусом [8]. Для более точных выводов, данные текущих исследований по зоопланктону сравнили с данными на аналогичных станциях, полученные в 2007 г и 1902 г (Рисунок 2).

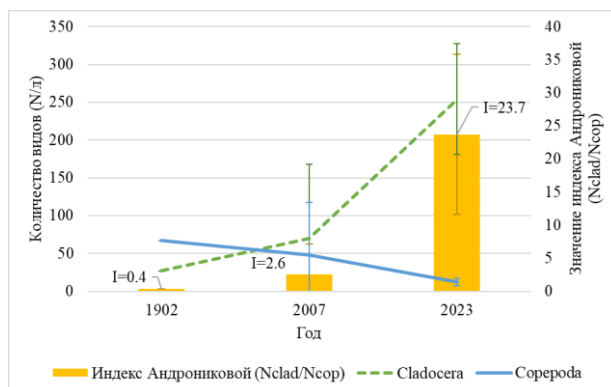


Рисунок 6. График значения индекса Андрониковой в различных исследованиях Вельёвской озерно-речной системы 1902, 2007 и 2023 г

Данные 1902 показывают сообщество, которое сходно с водоемами олиготрофного состояния ( $I=0.4$ ), а данные 2023г указывает на эвтрофикацию водоемов ( $I=23.7$ ). На основании анализа многолетних рядов данных становится очевидно, что все исследуемые водоемы претерпевают трансформацию от олиготрофного к эвтрофному состоянию, причем наиболее значительный эффект наблюдается в периоде от 2007-2023 года, совпадающий с временем активной урбанизации региона.

В ходе исследований сообществ высших водных растений, были рассчитаны индексы MTR и MIR для станций 5-8 (прибрежная территория озера Вельё) (таблица 1) [14].

Таблица 2.

**Трофический статус оз. Вельё по MTR и MIR, июль 2023**

Станция	5	6	7	8
MTR	34,5	37,6	46	40
Трофность (по MTR)	Риск эвтрофии	Риск эвтрофии	Риск эвтрофии	Риск эвтрофии
MIR	40	52,5	46,1	45
Трофность (по MIR)	Мезотрофный	Мезотрофный	Мезотрофный	Мезотрофный

На основе данных о высших водных растениях отмечено преобладание по проективному покрытию индикаторов эвтрофных и мезотрофных условий. Таким образом, озеро Вельё следует отнести к категории мезотрофных водоемов (по MIR), подверженных высокому риску эвтрофии (по MTR).

С 1902 в буферной зоне парка, в том числе и на берегах оз. Вельё, ведется активная застройка. Причем в 90-е годы прошлого столетия процесс урбанизации территории активизировался, и два десятилетия застройка происходила бесконтрольно, часто с нарушением требований природоохранного законодательства. На побережье в районе станций 6 и 5 было отмечено наличие объектов и следы рекреационной и хозяйственной деятельности непосредственно у линии уреза воды и в 50 метрах от нее [8, 9,14]. Информация о наличии очистных сооружений на освоенных территориях, указанных выше, отсутствует.

В гидроэкосистемах оз. Вельё наблюдается заметная тенденция к ускорению процессов эвтрофикации совместно с нерегулируемой рекреационной нагрузкой. Это может ухудшить состояние озера, что повлечет за собой невозможность его использования для различных целей водопользования, прежде всего для рыбозаведения и рекреационных мероприятий.

## БИБЛИОГРАФИЯ

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 года № значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения // СПС КонсультантПлюс.

ОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб. // СПС КонсультантПлюс.

ОСТ 31942-2012 Вода. Отбор проб для микробиологического анализа. // СПС КонсультантПлюс.

Д 52.18.595-96 Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды. – СПб.: Гидрометеоиздат. – 67 с.

Д 52.24.784-2013 Массовая концентрация хлорофилла «а». Методика измерений спектрофотометрическим методом с экстракцией этанолом // Ростов н / Д.: Росгидромет, 2013. – 21 с.

бакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. - Л.: Гидрометеоиздат. 1983. - 240 с.

ндроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. – СПб.: Наука, 1996. – 189 с.

нисимов, А. С., Каурова З.Г. Изучение сообщества мезозоопланктона озера Вельё и озера Пестовское национального парка "Валдайский" // Актуальные вопросы биологии, экологии и охраны природы: материалы национальной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – СПб.: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» (СПбГУВМ), 2024. – С. 6-8.

саченко М.С., Перепелкин В.В., Каурова З.Г. Исследование влияния рыбохозяйственной и рекреационной деятельности на кислородный режим озера Велье // Ветеринарная лабораторная диагностика (сборник статей и докладов на международной практической конференции). – СПб.: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» (СПбГУВМ), 2023. – С. 95-97.

узнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность / С.И. Кузнецов. – СПб.: Наука,

еверова-Дзиопак Е. Оценка трофического состояния поверхностных вод: монография / Е. Неверова-Дзиопак, Л. И. Цветкова; СПбГАСУ. – СПб., 2020. – 176 с.

строумов С.А. Синэкологические основы решения проблемы эвтрофирования // Доклады академии наук (ДАН). – 2001. – № 5. – С. 709-712.

егов С.А., Николаев В.И., Кузнецов М. П. План действий по достижению устойчивого развития территории национального парка «Валдайский» / Пегов С.А. – М.: КРАСАНД, 2009. – 80 с.

ерепелкин В.В. Оценка экологического состояния озер Валдайского национального парка на основе информации о высших водных растениях // Материалы национальной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – СПб.: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины» (СПбГУВМ), 2024. – С. 56-59.

троганов Н.С. Водоросли и макрофиты как объекты для биотестирования / Н.С.Строганов // Теоретические вопросы биотестирования. – М., 1983. – С.153-162.

\*\*\*\*\*

## ANTHROPOGENIC IMPACT ON LAKE VELJE IN RECREATIONAL AREAS

**Perepelkin V.V., Anisimov A.S., Kaurova Z.G.**

This work summarizes the hydrobiological and hydrochemical studies of Lake Velye, located on the territory of the Valdai National Park. According to the results of hydrochemical analysis of water, the content of biogenic substances exceeds background values in the recreational zones and the coast. According to the data obtained as a result of sanitary and microbiological analysis in these areas, a higher content of saprophytic bacteria and coliform bacteria was noted than in the central part of the lake. The calculated ratio of the total number of bacteria and saprophytic bacteria, as well as the Carlson index (TSI), suggests that eutrophication processes are accelerating in the areas of the reservoir used for recreation. Based on the retrospective analysis of the quantitative composition of mesoplankton community in the Lake Velye system from 1902 to 2023, as well as from modern data on the species composition of higher aquatic plants, it is possible to classify Lake Velye as mesotrophic with a high risk of eutrophication.

**Keywords:** Limnology, eutrophication, bioindication, mesozooplankton, higher aquatic plants, bacterioplankton, Valdai, Lake Velye.

---

## Сведения об авторах:

**Перепелкин Вячеслав Викторович**

Магистр биологии кафедры «биологии, экологии и гистологии»,  
ФГБОУ ВО «Санкт Петербургский государственный университет  
ветеринарной медицины»

**E-mail:** [perepyolkin.via4eslav@yandex.ru](mailto:perepyolkin.via4eslav@yandex.ru)

**Анисимов Алексей Сергеевич**

Бакалавр биологии кафедры «биологии, экологии и гистологии»,  
ФГБОУ ВО «Санкт Петербургский государственный университет  
ветеринарной медицины»

**E-mail:** [alyosha.anisimov@gmail.com](mailto:alyosha.anisimov@gmail.com)

**Каурова Злата Геннадьевна**

К.б.н., доцент кафедры «биологии, экологии и гистологии»,  
ФГБОУ ВО «Санкт Петербургский государственный университет  
ветеринарной медицины»

**E-mail:** [6zlata@mail.ru](mailto:6zlata@mail.ru)

# ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ (ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)

---