

УДК 639(556.55)

ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ ОЗЕР СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АКВАКУЛЬТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ЛЕСНОГО ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Н. Л. Болотова^{1*}, И. А. Мухин², О. Г. Лопичева¹, С. Ю. Арашин^{1,3}

¹ Вологодский государственный университет (ул. Ленина, 15, Вологда, Россия, 160000),
*bolotova.vologda@mail.ru

² Российский государственный гидрометеорологический университет (ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007)

³ Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН (109, Борок, Ярославская область, Россия, 152742)

Статья посвящена актуальной проблеме развития аквакультуры и оценке перспективности использования малых озер, учитывая их многочисленность и разнообразие, наряду с наличием экологических рисков. Анализируется ландшафтная обусловленность лимногенеза и лимитирующие факторы рыборазведения на примере малого озера Лесного (Вологодская область) как модельного водоема, типичного для широко распространенных среднетаежных ландшафтов. Учитывается, что генезис территории в краевых зонах покровного оледенения Северо-Запада определяет происхождение, особенности морфологии, развитие и современное состояние озер как структурных элементов ландшафта. Комплексное исследование модельного водоема позволило выделить ключевые показатели, отражающие нежелательные процессы для выращивания рыб, учитывая влияние природных и антропогенных факторов. Показано, что мелководность озер, расположенных в низменной заболоченной местности, стимулирует их сукцессию в сторону гумификации, дистрофикации, закисления грунтов, цветения, ухудшения газового режима, низкого уровня развития кормовой базы и формирования окунево-плотвичных ихтиоценозов. Результаты исследования модельного водоема возможно аппроксимировать на другие водоемы ландшафта в рамках адекватного выбора и планирования использования водного фонда в целях аквакультуры. Целью работы было выявить лимитирующие факторы использования для аквакультуры малых водоемов на примере модельного озера Лесного как типичного для широко распространенных среднетаежных ландшафтов и обосновать методологический алгоритм исследований в рамках ландшафтно-экосистемного подхода.

Ключевые слова: аквакультура; малые озера; среднетаежные ландшафты; ландшафтная обусловленность; лимитирующие факторы рыборазведения

Для цитирования: Болотова Н. Л., Мухин И. А., Лопичева О. Г., Арашин С. Ю. Лимитирующие факторы использования малых озер среднетаежных ландшафтов для развития аквакультуры (на примере озера Лесного Вологодской области) // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 6. С. 151–165. doi: 10.17076/lim2226

N. L. Bolotova^{1*}, I. A. Mukhin², O. G. Lopicheva¹, S. Yu. Arashin^{1,3}. FACTORS LIMITING THE AQUACULTURAL USE OF SMALL LAKES IN MID-BOREAL LANDSCAPES (CASE STUDY OF LAKE LESNOYE, VOLOGDA REGION)

¹Vologda State University (15 Lenina St., 160000 Vologda, Russia), *bolotova.vologda@mail.ru

²Russian State Hydrometeorological University (79 Voronezhskaya St., 192007 St. Petersburg, Russia)

³Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences (109, 152742 Borok, Yaroslavl Region, Russia)

This article examines the development of aquaculture in small lakes. The landscape-dependent limnogenesis and limiting factors for fish farming are analyzed through the case of the small Lake Lesnoye (Vologda Region) as a model reservoir typical of widespread mid-boreal landscapes. The lake's genesis, morphology, evolution, and current state have been determined by the region's location in the north-western ice sheet margin. Having comprehensively studied this model reservoir, we identified key indicators of processes of both natural and anthropogenic nature unfavorable for fish farming. It is shown that the shallowness of lakes located in low-lying wet areas stimulates their succession towards humification, dystrophication, soil acidification, algal blooms, deterioration of the gas regime, low feeding capacity and formation of perch and roach dominated communities. The results of the model lake study can be approximated for other water bodies in this type of landscape, allowing for appropriate selection and planning of water resources to be used in aquaculture. The aim was to identify the limitations for aquacultural use of small water bodies through the case study of Lake Lesnoye as a model typical of widespread mid-boreal landscapes, and to substantiate a methodological research algorithm within the landscape-ecosystem approach.

Keywords: aquaculture; small lakes; mid-boreal landscapes; landscape determinacy; limiting factors for fish farming

For citation: Bolotova N. L., Mukhin I. A., Lopicheva O. G., Arashin S. Yu. Factors limiting the aquacultural use of small lakes in mid-boreal landscapes (case study of Lake Lesnoye, Vologda Region). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 6. P. 151–165. doi: 10.17076/lim2226

Введение

Снижение рыбных ресурсов в пресноводных водоемах и обширная мировая практика аквакультуры стимулирует интерес к ее развитию в России как к компенсационному пути обеспечения населения доступной рыбопродукцией [Козлов, 2005; Багров, Мамонтов, 2008; Павленко и др., 2017 и др.]. Технологии аквакультуры дают возможность поддержания численности редких и ценных популяций. Привлекает и социальная значимость отрасли, которая может создавать не только качественные продукты питания, но и рабочие места, способствуя занятости населения. Поэтому стратегия рыбоводства, направленная на развитие аквакультуры, поддерживается государственной политикой и реализуется в рамках федеральных и региональных программ, включая и Вологодскую область. Тем более что географическое расположение области обеспечивает климатически благоприятные условия для рыбоводства, а разнообразие водных объектов позволяет

развивать разные направления аквакультуры: садковой, рекреационной, пастбищной и индустриальной [Озерные..., 1981; Природа..., 2007; Степанов, Болотова, 2021].

Популяризация среди предпринимателей идеи развития аквакультуры на малых озерах усилила востребованность разработки рыбоводно-биологических обоснований (РБО), что, соответственно, требует научного обеспечения. При любом дополнительном воздействии, включая рыбоводную деятельность, необходима оценка текущего состояния озер. Следует отметить, что результаты исследований при выявлении бесперспективности использования малых озер под аквакультуру не только с позиций рентабельности, но и с учетом экологических рисков не устраивают заказчиков проектов.

Кроме того, в рамках государственной политики, направленной на развитие аквакультуры, создание РБО имеет бюджетное финансирование. Это требует обоснованности выбора малых озер для исследований, учитывая их

разнотипность и расположение в разных ландшафтах. Поэтому важным моментом является знание ландшафтной обусловленности лимногенеза, что позволяет прогнозировать лимитирующие факторы, создающие экологические риски рыбозаповедения. Тем более что с ландшафтами связано формирование водосборов, а их особенности влияют на возможности развития инфраструктуры, демографическую обстановку, что является также экономической составляющей рентабельности использования малых озер для развития аквакультуры.

Актуальность ландшафтно-экосистемного подхода очевидна для Вологодской области, территория которой располагается в подзонах средней и южной тайги в ландшафтах с выраженным заболачиванием. Это в условиях малых мелководных озер стимулирует их гумификацию и дистрофикацию, создавая неблагоприятные условия для рыбозаповедения [Озерные..., 1981; Болотова и др., 2025]. Целью работы было выявить лимитирующие факторы использования для аквакультуры малых озер на примере модельного озера Лесного как типичного для широко распространенных среднетаежных ландшафтов и обосновать методологический алгоритм исследований в рамках ландшафтно-экосистемного подхода.

Материалы и методы

Теоретической основой методологического алгоритма проведенных исследований, связанных с реализацией развития аквакультуры на малых озерах Вологодской области, явилось положение о ландшафтной обусловленности лимногенеза [Воробьев, 1991].

Сложный генезис территории Северо-Запада, подвергшейся неоднократному оледенению, привел к формированию 33 ландшафтов в пределах Вологодской области, более половины которых относятся к среднетаежной провинции [Природа..., 2007]. Последнее определило приуроченность района исследований к среднетаежным ландшафтам. Их значимость определяется масштабной протяженностью в рассматриваемом регионе как части среднетаежной зоны, занимающей более трети территории холодного пояса России.

Модельным объектом, анализируемым в статье, послужило типичное малое лесное озеро, что отразилось и в его названии – Лесное, расположенное в Прикубенском моренном равнинном средневысотном среднетаежном ландшафте [Природа..., 2007]. Это один из восьми равнинных ландшафтов среднетаежной подпровинции Северо-Двинской области,

охватывающий крупные бассейны рек Северо-Запада на Восточно-Европейской равнине (рис. 1, А).

Многочисленность малых озер определяет необходимость подхода к их типизации на ландшафтном уровне, иерархически более высоком, чем экосистемный, с учетом их происхождения как приоритетного фактора лимногенеза, через который преломляется и антропогенное воздействие. Комплексные исследования оз. Лесного как модельного и типичного водоема для среднетаежных ландшафтов позволили конкретизировать методологический алгоритм изучения малых озерных экосистем. Это дает возможность обосновать критерии их выбора в целях рыбозаповедения на основе выявления лимитирующих факторов, отражающих ландшафтную обусловленность лимногенеза. Возможность аппроксимации результатов изучения модельного водоема для оценки состояния других озер ландшафта определяется следующими позициями.

При исследовании Вологодской области в основу ландшафтной классификации малых озер были положены тип морфологической структуры и геохимические особенности ландшафта [Воробьев, 1991]. Данный подход лежит в основе выделения показателей, характерных для озерных систем Северо-Запада, располагающихся в ландшафтах, сформировавшихся после отступления ледника и приледниковых вод [Малоземова, 2012]. Озеро Лесное является обычным для зонального таежного типа геохимических ландшафтов кислородным водоемом, которые характерны для гумидной зоны.

Озеро Лесное находится в Харовском муниципальном округе центральной части Вологодской области, где природные условия являются типичными для ее территории, расположенной на границе подзон средней и южной тайги. С географическим положением Харовского округа, обеспечивающим его доступность для исследователей, связано достаточно опубликованных сведений, касающихся разных направлений изучения ландшафтов [Озерные..., 1981; Авдошенко и др., 1984; Харовск..., 2004; Природа..., 2007; Болотова, 2022]. Это дает возможность выделить характерные черты озер, расположенных в среднетаежных ландшафтах на моренной и озерно-ледниковой низменной равнине, приуроченных к краевым зонам покровного оледенения. В рассматриваемом среднетаежном ландшафте преобладают малые мелководные озера, такие как озеро Лесное, с небольшими водосборными бассейнами среди заболоченных низких равнин.



Рис. 1. Географическое положение озера Лесного (А) в среднетаежном ландшафте Сухоно-Двинской ландшафтной области [Атлас..., 2007] и спутниковый снимок (В)

Fig. 1. Geographical location of the studied lake (A) in the middle taiga landscape of the Sukhona-Dvina landscape region [Skupinova, 2007] and a satellite image (B)

Происходит заиление озер, их зарастание как по дну, так и сплавиной, что неблагоприятно для рыбозаразведения. Известно, что зональный гумидно-фульвокислотный тип лимногенеза направлен в сторону дистрофикации, гумификации и формирования типичных окунево-плотвичных ихтиоценозов [Озерные..., 1981; Жаков, 1984]. Наличие антропогенных источников поступления фосфора резко ускоряет темпы эвтрофирования мелководных малых озер.

В этом плане исследование озера Лесного представляет особый интерес, так как оно находится в удаленной от населенных пунктов труднодоступной заболоченной местности. Однако озеро активно посещается рыбаками-любителями, на берегу поставлены вагончики для ночевки, завезено много моторных лодок. Низкие берега окружены лесами, вплотную к берегу подходит болото, что затрудняет проезд и создает экономический риск для рыбохозяйственного освоения водоема при необходимости строительства дороги в этой местности.

Озеро Лесное характеризуется незначительной площадью водосбора – 27,3 км². В водоем впадает ручей Черный и вытекает река Сохта длиной 10 км. Котловина озера имеет остаточное ледниковое происхождение, связанное с заполнением понижений рельефа тальми

водами отступающего ледника. Для уточнения географического положения озера Лесного использовались картографические материалы, в ходе полевых исследований установлены координаты озера с помощью GPS-навигатора. Для учета антропогенного воздействия выявляли освоение берегов и степень трансформации водосбора. Площадь сплавины вычисляли по общедоступным спутниковым снимкам интернет-сервиса «Bing.Maps» в координатной привязке. Морфометрические параметры – длину озера и максимальную ширину вычисляли по установленным на месте крайним точкам с координатной привязкой. Среднюю ширину озера, изрезанность береговой линии, коэффициент глубинности и относительной глубины рассчитывали по общепринятым методикам [Богословский, 1960; Определение..., 2018]. При помощи картографических материалов в программе qGIS, созданных на основе спутниковых снимков, вычисляли длину береговой линии, коэффициенты формы и удлиненности котловины озера. Исходя из морфологических особенностей водоема определена сетка батиметрических профилей в изобатах и горизонталях в масштабе 1:2000 с сечением изолиний 1 м. Выполнены промеры глубин эхолотом по продольным профилям с координированием

при помощи GPS-навигатора. По результатам батиметрической съемки вычислен объем воды озера и средний уклон дна.

Время проведения экспедиции в августе 2022 г. было выбрано для исследования состояния озера в период наибольшей вегетации, что важно для оценки процессов эвтрофирования, нежелательных для рыбоводства. Площадь зарастания озера вычисляли по реперным точкам в координатной привязке, нанесенным на карту озера. Выявлялись доминирующие макрофиты, их таксономическая принадлежность устанавливалась с помощью определителя [Орлова, 1997]. Расположение станций отбора проб (рис. 2) учитывало характер котловины, глубину и биотопическое разнообразие озера.

Общий объем собранного материала составил 34 пробы. Гидрохимические пробы (5 л) были отобраны на двух станциях: в зарослях около сплавины (ст. 1) и в центре озера в зоне открытой воды (ст. 7). Для физико-химического анализа 8 проб грунтов были отобраны на станциях, из которых пять (ст. 1, 2, 3, 4, 5) охватывали разные зарослевые биотопы и три (ст. 6, 7, 8) – зону открытой воды. На этих же восьми станциях собран гидробиологический материал в объеме 24 проб, включая фитопланктон, зоопланктон, зообентос (по 8 проб каждой группы гидробионтов).

Пробы донных отложений собирались с использованием ковша Ван-Вина согласно

ГОСТ 17.1.5.01. Использовали анализатор «Эксперт-001» для определения pH потенциометрическим методом и электропроводности – кондуктометрическим методом. Гигролажность донных отложений анализировалась согласно ГОСТ 5180-84. Содержание тяжелых металлов определялось в аккредитованной лаборатории по стандартным методикам. Выявление физико-химических свойств воды включало на каждой станции: определение прозрачности при помощи диска Секки, активной реакции среды pH-метром, измерение температуры и содержания растворенного кислорода оксиметром. Гидрохимические пробы анализировались по стандартным методикам в сертифицированной испытательной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Вологодский». Определялось 25 показателей. Среди них мягкость и сухой остаток; содержание гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов, общей щелочности, что отражает устойчивость озерной экосистемы к скрытому закислению. Выявлялись показатели, связанные с процессом гумификации: цветности, мутности и содержания взвешенных веществ. Уровень органического загрязнения озер оценивался с помощью показателей биологического потребления кислорода, перманганатной окисляемости, химического потребления кислорода и его содержания в воде озера. Устанавливалось содержание в воде биогенных элементов, включая общий фосфор, аммонийный азот, нитрит

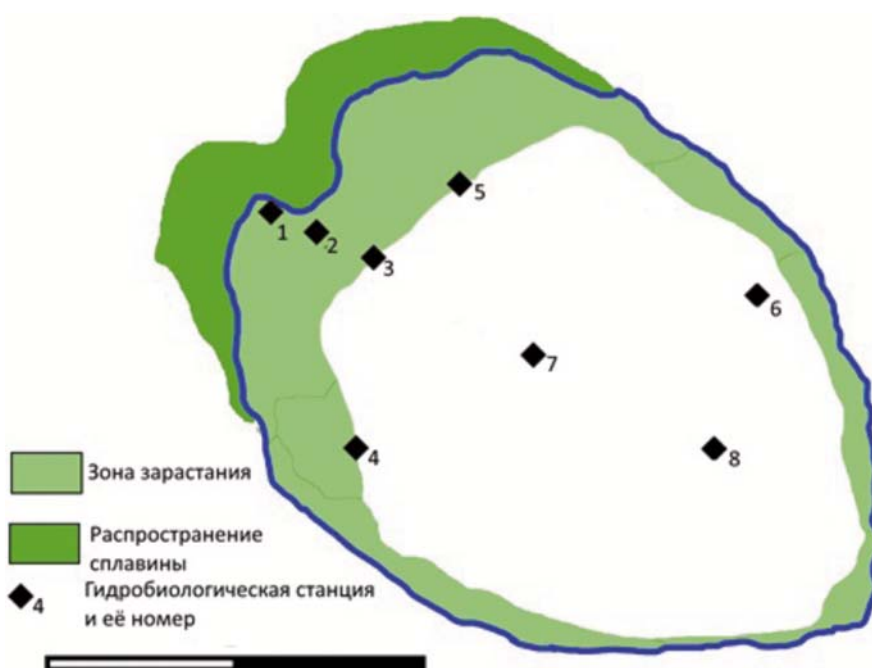


Рис. 2. Схема расположения станций отбора проб на озере Лесном
Fig. 2. Layout of the sampling stations on Lake Lesnoye

и нитрат-ион, с поступлением которых связана продвинутость процессов эвтрофирования. Из загрязняющих веществ определялось содержание в воде наиболее распространенных на территории региона тяжелых металлов (марганец, медь, железо, цинк, свинец) и органических веществ (анионные активно-поверхностные вещества, нефтепродукты).

Гидробиологические пробы были отобраны в требуемой методикой повторности в зоне открытой воды на участках разной глубины и в прибрежной зоне у края сплавины, в разных биотопах зарослевой зоны. Сбор и обработку гидробиологических проб осуществляли в соответствии со стандартными методиками [Методы..., 2024]. Отбор проб фитопланктона (объемом 2 литра, в поверхностном слое) проводился с помощью горизонтального батометра Ван-Дорна. Пробы фиксировались раствором Люголя. Камеральная обработка проб выполнялась по общепринятой методике с использованием определителей [Паламарь-Мордвинцева, 1982; Süßwasserflora..., 1991a, b]. Для сбора проб зоопланктона применялась количественная сеть Джеди (диаметр верхнего кольца 25 см, сито № 70): в пелагиали отбирали протягиванием сети от дна до поверхности, в зарослях – профильтровывали 50 л. Пробы фиксировались 4% раствором формалина и обрабатывались в лабораторных условиях. Видовая принадлежность организмов устанавливалась с использованием [Определитель..., 2010]. Рассчитывалась общая численность (тыс. экз./м³) и биомасса (г/м³) зоопланктона, доля таксономических групп. Пробы макрозообентоса отбирали ковшом Ван-Вина с площадью захвата 0,002 м² в трех повторностях. Грунт промывался в сетном мешке из газа № 17, пробы фиксировались формалином. Камеральная обработка проб производилась в лаборатории счетно-весовым методом, идентификация осуществлялась до наименьшего определяемого таксона [Определитель..., 2016]. Данные по численности и биомассе бентоса пересчитывались на 1 м² поверхности дна. Для выявления состава рыбного населения применялась постановка жаберных сетей (одностенные, с ячейей 27–32 мм) в открытой воде и вдоль зарослей, проводился опрос рыбаков-любителей. Пойманные рыбы (42 экз.) обрабатывались согласно методике ихтиологических исследований для использования в аквакультуре [Плотников и др., 2018].

Методологический алгоритм проведенного комплекса исследований выстроен в рамках экосистемного подхода, с учетом происхождения водоема, влияния водосбора на формирование

условий обитания организмов в озере, выявления нежелательных процессов, ухудшающих качество воды, грунтов и всех трофических уровней.

Результаты и обсуждение

Морфометрические показатели

Озеро Лесное имеет овальную форму, блюдцеобразное ложе, ровный рельеф дна с простой конфигурацией в форме неправильной воронки, углубление которой смещено в юго-восточную часть озера (рис. 3). Длина озера (L) равна 1 950 м, максимальная ширина ($V_{\text{макс}}$) – 1 470 м; средняя ширина ($V_{\text{ср}}$) – 1 070 м. Длина береговой линии (l_0) составила 5 660 м, изрезанность слабая ($m = 1,10$). Значение коэффициента удлинённости котловины – 1,88. Объем ($V_{\text{ос}}$) воды составляет 2,59 млн м³. Максимальная глубина ($H_{\text{макс}}$) озера равна 4,9 м, а средняя – 1,24 м. Участки с глубинами 1–2 метра занимают 74 % от площади зеркала. Коэффициент формы котловины (Ф) равен 1,81, средний уклон дна водоема (I) всего 0,8°. Коэффициент глубинности (b) 0,25 и низкий коэффициент относительной глубины (0,010) отражают слабую укрытость озерной котловины и крайне низкую степень стратифицированности водной массы. Высокий показатель открытости зеркала оз. Лесного (0,809) определяет интенсивный контакт вод озера с атмосферой.

По морфологическим параметрам озеро Лесное можно классифицировать как мелководное по глубине и малое по площади. Отметим, что применение садковой аквакультуры связано с размещением рыбоводной инфраструктуры при глубине не меньше 3 м, а оптимальной – не менее 5 м [Экологический..., 2013], тогда как в озере Лесном основная площадь акватории имеет глубины менее 2 метров, что является препятствием для установки садков. С точки зрения пастбищного выращивания рыб озеро Лесное имеет достаточную площадь 210 га, но жилую зону для рыб уменьшает обширная сплавина (12,5 % от площади озера). В остальной части водоема жилая зона ограничивается глубинами 0,5–1,3 м до слоя жидкого ила метровой толщины, что также препятствует и неводному облову, который применяется в пастбищной технологии аквакультуры.

Донные отложения и физико-химические свойства воды

Интенсивное илообразование служит лимитирующим фактором использования водоема в целях аквакультуры. Мощность жидких илов

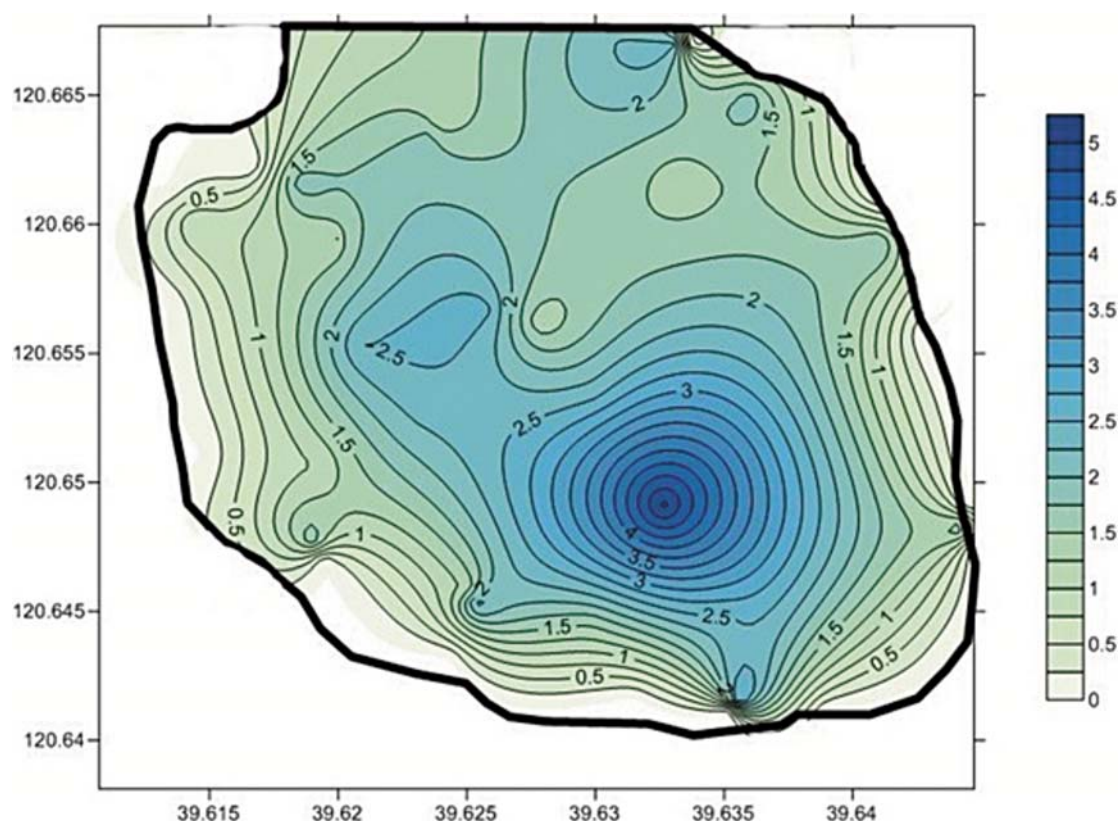


Рис. 3. Картограмма батиметрии оз. Лесного (глубина в метрах)

Fig. 3. Bathymetric map of Lake Lesnoye (depth in meters)

достигает 1 метра, что связано с поступлением аллохтонного органического вещества с низких заболоченных берегов и с притоком вытекающей из болота р. Черной. В активно зарастающем озере значительный вклад в илообразование вносит и автохтонная органика за счет отмирания высшей водной растительности. Свойства ила как тонкодисперсного материала с высокой гигроскопической влажностью 70–78 % определяют в озере Лесном прогрессирование аккумуляционных процессов. Низкие показатели pH донных отложений (4,1–4,2), отражающие потенциальную уязвимость малых среднетаежных озер к закислению, связаны с заболоченностью водосбора. Цвет грунтов от коричневого к черно-серому свидетельствует о высоком уровне гумификации водоема при поступлении болотных вод и о регулярном наличии бескислородных условий. Гнилостный запах проб указывает на протекание анаэробных процессов в донных отложениях озера. В условиях мелководности это стимулируется температурным режимом в летний период при прогревании всей толщи воды из-за отсутствия стратификации. Следует отметить, что температура воды в озере Лесном в период сбора проб в августе составляла 20,5–21,2 °С.

Кроме того, прогревание воды влияет на способность донных отложений поглощать и удерживать загрязняющие вещества. Свойства грунтов с большим содержанием трудно минерализующейся органики при электропроводности до 1,89 и присутствии тяжелых металлов (свинец, цинк, медь, кадмий) повышают уязвимость озера Лесного в плане его токсификации, учитывая, что величины концентраций металлов положительно коррелируют с содержанием илистой фракции. Опасным следствием протекания интенсивных анаэробных процессов служит обнаружение на участке около сплавины сероводорода, губительного для организмов.

Накопление органических веществ, вызывающее дефицит кислорода, подтверждается показателем химического потребления кислорода $33,6 \pm 6,7$ мг/дм³, более чем в 2 раза превышающим ПДК (15 мг/дм³) для рыбохозяйственных водоемов; показатель перманганатной окисляемости составлял $14,4 \pm 1,4$. В результате постоянного поступления аллохтонной органики с водосбора ухудшается кислородный режим, являющийся основным лимитирующим фактором для осуществления рыбоводных мероприятий. Кроме того,

значительная часть более высокого восточного берега, покрытого лесом, подмывается, и побережье усеяно затонувшей древесиной, на разложение которой требуется кислород. Периодическое цветение воды (установлено по опросным данным) также ухудшает кислородный режим, создавая заморные ситуации. В период открытой воды насыщение кислородом происходит за счет интенсивного контакта вод озера с атмосферой благодаря открытости зеркала (коэффициент 0,809). Однако даже в этот период в поверхностном слое содержание кислорода не превышало $6,2 \pm 1,0$ мг/дм³ при пороговой концентрации 6,0 мг/дм³ для многих видов рыб. Соответственно, в подледный период велика вероятность заморных явлений, что и подтвердилось опросом рыбаков-любителей и местных жителей.

Заилению озера Лесного также способствует замедленный водообмен при обеспечении проточности только притоком из болотного ручья и стоком в малую реку Сохту. В этих участках озера показатели скорости течения всего 0,006 м/сек. Динамика водных масс озера Лесного определяется ветровым перемешиванием, что вызывает повышение мутности воды, являющейся неблагоприятным фактором для выращивания рыб. Активность ветрового перемешивания водных масс связана и со слабой укрытостью озерной котловины, чему соответствует рассчитанный низкий коэффициент относительной глубины водоема (0,01). В условиях мелководности наличие жидкого ила по всей площади дна озера даже в безветренную погоду создает высокую мутность воды. Повышение содержания взвешенных веществ как грубодисперсных примесей в озерной воде снижает освещенность, прозрачность, создает неблагоприятные условия для гидробионтов-фильтраторов и рыб. Из-за наличия большого слоя жидких илов в озере Лесном даже при штилевой погоде в период отбора проб в поверхностном слое содержание взвешенных веществ было $1,48 \pm 0,27$ мг/дм³, а прозрачность не превышала 1,2 м. Следовательно, любое интенсивное ветровое перемешивание в условиях мелководности озера вызовет значительное увеличение мутности воды. Свой вклад во взмучивание воды вносит любительский лов при использовании моторных лодок.

Вода озера Лесного по химическому составу относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Высокое содержание гидрокарбонатов ($54,3$ мг/дм³) по отношению к содержанию ионов более сильных кислот хлоридов

и сульфатов (менее 10 мг/дм³) отражает достаточную устойчивость озерной экосистемы к закислению. Это согласуется с показателем общей щелочности (около $0,9 \pm 0,11$ моль/дм³) как способности нейтрализовывать кислоты и значением нейтральной реакции среды (рН 7). Следует отметить такие неплохие свойства воды, как мягкость (1,1 град.) и показатель сухого остатка (около $102,9 \pm 9,8$ мг/дм³), характеризующий общее содержание растворенных в воде нелетучих минеральных и частично органических соединений. Однако заболачивание берегов, при котором происходит поступление в воду трудноокисляемых гуминовых кислот, определяет процесс гумификации, что неблагоприятно для рыборазведения. Признаком гумификации служит высокая цветность воды в оз. Лесном ($36,5 \pm 7,3$ град.). Исследования других малых озер показали, что поступление органического вещества, придающего воде желтоватый или коричневый цвет, негативно влияет на режим освещенности в водоеме, снижая его биологическую продуктивность [Karlsson et al., 2009].

На берегах труднодоступного озера Лесного нет постоянных локальных источников поступления органических и биогенных веществ за счет хозяйственной деятельности. Это отражают показатели БПК₅ (менее 1,0 мг О₂/дм³) и содержание общего фосфора (менее 0,02 мг/дм³), которые не превышают норму. Однако поступление аллохтонной органики с последующей нитрификацией повышает содержание азота, другого основного биогенного элемента, ускоряющего процесс эвтрофирования. Так, содержание нитритов $0,076 \pm 0,014$ мг/дм³ практически достигало порога ПДК даже в период наибольшей вегетации при интенсивном потреблении продуцентами.

Другим негативным фактором является поступление токсических веществ. Среди обнаруженных в воде озера Лесного тяжелых металлов – свинец, цинк, медь, железо, марганец. Только содержание последнего ($0,013 \pm 0,004$ мг/дм³) превышало в 1,3 раза ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Повышенное содержание марганца, железа и меди часто отмечается в озерах Вологодской области при высоком кларке этих металлов в почвах. В то же время присутствие в воде свинца и цинка, несмотря на удаленность озера от центров промышленных выбросов, очевидно, объясняется аэротехногенным переносом. Обнаружение в воде нефтепродуктов ($0,028 \pm 0,01$ мг/дм³) и анионных поверхностно-активных веществ ($0,106 \pm 0,034$ мг/дм³) явно связано с моторными лодками рыбаков-любителей.

Лимитирующим фактором для использования озера Лесного в целях аквакультуры является его зарастание, в пространственной картине которого наиболее выделяется северо-западная часть с обширной сечиной и доминированием тростника. Ее площадь, около 370 м², составляет 12,5 % от площади зеркала озера, а объем воды под сечиной оценивается в 87,7 тыс. м³ (3,3 % от объема озера). Вдоль остальных берегов сечина встречается отдельными пятнами. Около 30 % дна озера заросло высшей водной растительностью с доминированием хвоща приречного. К северо-западной части озера приурочены самые обширные ассоциации макрофитов из хвоща приречного и кубышки желтой. В открытой зоне вдоль берега пояс растительности выражен слабо (менее 0,5 м). Основными структурными элементами зарослей макрофитов являются гелофиты – тростник и хвощ приречный, нейстофиты (плейстофиты) – кубышка желтая, гидрофиты (гидатофиты) – рдест блестящий и пронзеннолистный. Наличие выраженной зоны открытой воды и зоны зарастания определяет особенности биотопов и представленность в них фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

Фитопланктон отличался снижением показателей численности в зарослевых ассоциациях и повышением в зоне открытой воды (рис. 4). Минимальные значения численности (7,1 млн кл./л) отмечены на участке около сечины, а максимальные (12,3 млн кл./л) – в зоне открытой воды в центральной части озера, в основном за счет развития цианопрокариот.

Известно, что взаимоотношения высшей водной растительности и фитопланктона как первичных продуцентов не ограничиваются только конкуренцией за биогенные элементы, но и связаны с эффектом аллелопатии [Садчиков, Кудряшов, 2004]. В частности, выявлена способность кубышки желтой выделять в воду большое количество жирных кислот и фталатов, которые оказывают угнетающий эффект на фитопланктонное сообщество [Курашов и др., 2014].

Таксономический состав фитопланктона озера Лесного был представлен видами из пяти отделов водорослей: диатомовые, зеленые, цианопрокариоты, криптофитовые и золотистые. Основу видового богатства составляли первые три группы. К массовым видам среди цианопрокариот относились *Anabaena flos-aquae* и *A. lemmermanii*, которые вызывают опасное «цветение» воды. Среди диатомей зарегистрированы следующие виды: *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Aulacoseira subarctica*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella* sp., *Epithemia sorex*, *Gomphonema angustatum*, *Stephanodiscus minutulus*, *Tabellaria flocculosa*, *Fragilaria capucina*. Отдел зеленые водоросли представляли *Chlamydomonas* sp., *Scenedesmus arcuatus*, *Tetraspora cylindrica*, *Cosmarium formosulum*, *Monoraphidium arcuatum*.

В структуре фитопланктонного сообщества по численности доминировали мелкие формы водорослей из отдела цианопрокариот. К субдоминантам относились представители диатомовых водорослей, гораздо меньшую численность имели зеленые, криптофитовые и золотистые водоросли. Биомасса фитопланктона в среднем на 48,7–75,6 % была сформирована диатомовыми водорослями, что характерно для северных мелководных озерных экосистем.

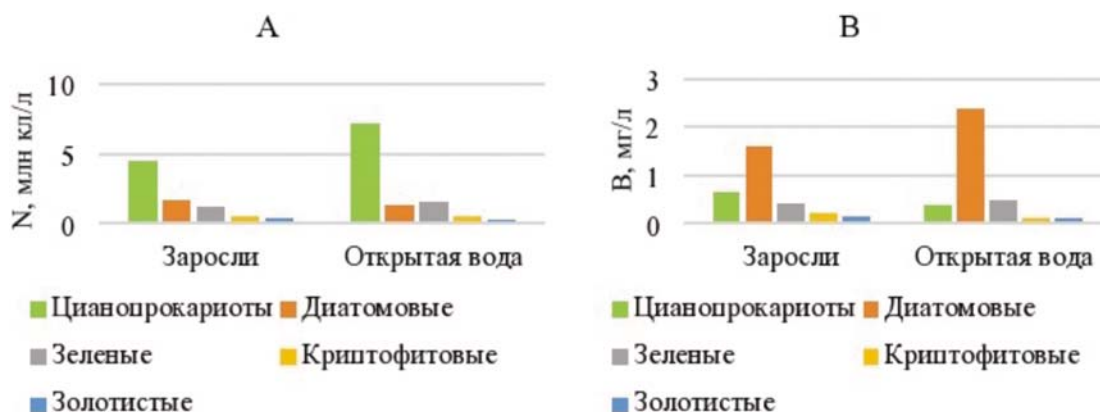


Рис. 4. Средняя численность (А) и биомасса (В) фитопланктона озера Лесного
Fig. 4. Average density (A) and biomass (B) of phytoplankton in Lake Lesnoye

Значительную долю в биомассу вносили также представители зеленых водорослей и цианопрокариот (рис. 4). Средние значения биомассы фитопланктона в озере Лесном составляли 3,1 мг/л, что позволяет отнести водоем к мезотрофно-эвтрофному статусу. Следует отметить, что в озере обнаружены виды из рода *Microcystis*, способные выделять токсины; их накопление в рыбах опасно и для человека, учитывая развитие любительского лова.

Для зоопланктоценоза озера Лесного зарослевая зона играет структурообразующую роль, как и для других зарастающих озер. В зарослевой зоне численность и биомасса зоопланктона гораздо выше, чем в открытой воде (рис. 5).

Известна зависимость уровня развития и видовой структуры зоопланктона от гетерогенности структурной композиции зарослей зоны, развития макрофитов, их морфологического строения, что способствует формированию разнообразия экологических условий [Kuczyńska-Kippen, 2006; Курбатова и др., 2019 и др.].

В наиболее распространенных ассоциациях хвоща приречного в местах вкрапления пятен смешанных зарослей кубышки желтой и рдестов при увеличении гетерогенности местообитаний отмечена наибольшая численность зоопланктона – 78,3 тыс. экз./м³ и биомасса – 1,6 г/м³. Однако средний показатель численности зоопланктона составил около 57 тыс. экз./м³, а биомасса – 0,9 г/м³, что характеризует озеро Лесное как малокормный водоем и является лимитирующим фактором для пастбищной аквакультуры.

В составе зоопланктона озера Лесного отмечено 29 видов, среди них ветвистоусых ракообразных – 15, коловраток – 8, веслоногих ракообразных – 6. Массовыми видами зоопланктона в летний период были: среди коловраток *Asplanchna priodonta*, *Keratella cochlearis*; среди клadoцер *Sida crystallina*, *Bosmina coregoni*, *Daphnia cucullata*, *Ceriodaphnia laticaudata*; среди copeпод *Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*.

Основной вклад в видовое разнообразие зоопланктона вносит зарослевая зона за счет ветвистоусых ракообразных. Пространственная структура зоопланктона в зарослях зависит от плотности макрофитов, наличия открытых участков и ветрового фактора. Так, в широко распространенных и разреженных зарослях хвоща помимо фитофильных клadoцер (*Acroporus harpae*, *Biapertura affinis*, *Pleuroxus truncatus*, *Chydorus sphaericus*) встречаются пелагические виды *D. cucullata*, *E. gracilis*. Кроме того, на границе с зоной открытой воды обнаружены представители крупных хищных клadoцер *Lepidodora kindtii* и редко встречающийся в малых озерах области *Bythotrephes* sp. В одновидовом биотопе хвоща приречного отмечалось разнообразие взрослых циклопов, науплиальных и copeподитных стадий, среди них типичные обитатели северных озер *Paracyclops affinis*, *Diacyclops bicuspidatus*, *Eucyclops serrulatus*. Также отмечена значительная численность планктонных циклопов *M. leuckarti* и единичные особи *Thermocyclops oithonoides*. В биотопе со смешанными ассоциациями (хвощ приречный, кубышка желтая и рдесты) помимо доминирующих по биомассе *S. crystallina* и *E. serrulatus*

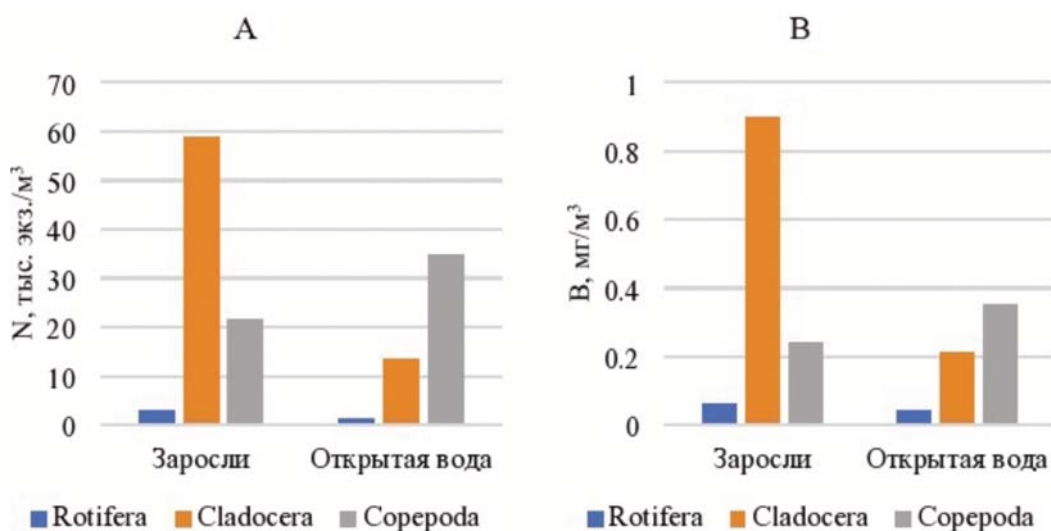


Рис. 5. Средняя численность (А) и биомасса (В) зоопланктона оз. Лесного

Fig. 5. Average density (A) and biomass (B) of zooplankton in Lake Lesnoye

встречались тяготеющие к пелагиали виды: *K. cochlearis*, *B. coregoni*, *D. cucullata*, *E. gracilis*.

В зоне открытой воды зоопланктон носил копеподный характер с доминированием *E. gracilis* и *M. leuckarti*. Среди коловраток преобладал по биомассе хищный крупный вид *A. priodonta*, а по численности – пелагические виды *K. cochlearis* и *K. quadrata*. К массовым видам кладоцер относился *D. cucullata*. Среди эвритопных видов в зоне открытой воды отмечались *C. laticaudata*, *Bosmina longirostris*, *C. sphaericus*. Основными факторами формирования зоопланктоценоза открытой воды были однообразие условий обитания и ветровое перемешивание.

Зарослевая зона озера Лесного служит основным местообитанием и для донных организмов (рис. 6). В пробах обнаружены олигохеты, моллюски, личинки поденок, стрекоз, мокрецов, типулин, жуки и хирономиды. В илах открытой воды отмечается бедность видового состава макробентоса. В зарослевой зоне доминируют олигохеты, на которые приходится около трети общей численности и биомассы, к субдоминантам относятся моллюски. Значительной численностью (29 %) отличались поденки, а личинки стрекоз из-за крупных размеров вносили заметный вклад (21 %) в общую биомассу.

На участках открытой воды обнаружены только поденки и моллюски. Пространственная картина видового состава и количественных показателей макрозообентоса зависела от состояния грунтов, структуры макрофитов, доли крупных форм бентосных организмов и соответственно отличалась в самих зарослях и зоне

открытой воды (рис. 6). Наименьшая биомасса донных животных 0,06 г/м² при численности 200 экз./м² была на участке около сплавины, где отмечались неблагоприятные условия для развития макробентоса ввиду анаэробных процессов в черно-серых илах с растительными остатками и сернистым запахом. К доминирующей группе относились личинки мокрецов: 60 % от общей численности при биомассе 18,7 % от общей биомассы зообентоса. Хирономиды, как более крупные формы, преобладали по биомассе, составляя 56,3 % от общей биомассы бентоса. На третьем месте по значимости в структуре макрозообентоса находились олигохеты.

Наибольшая биомасса макрозообентоса 1,6 г/м² при численности 2040 экз./м² зарегистрирована на заиленном детрите с растительными остатками в зарослях смешанной ассоциации из хвоща приречного, кубышки желтой и рдестов. Здесь были встречены представители семи систематических групп: олигохеты, моллюски, жуки, личинки стрекоз, поденок, комаров-звонцов и мокрецов. В доминирующую группу входили олигохеты: 45,1 % от общей численности и 51,4 % от общей биомассы зообентоса. Доля поденок в общей численности достигала 23,5 %. Немногочисленные моллюски, ввиду крупных размеров их представителей, входили в доминирующую группу по биомассе.

В однообразных условиях разреженных зарослей одновидовой ассоциации хвоща приречного с жидкими илами коричневого цвета наблюдалось резкое обеднение видового

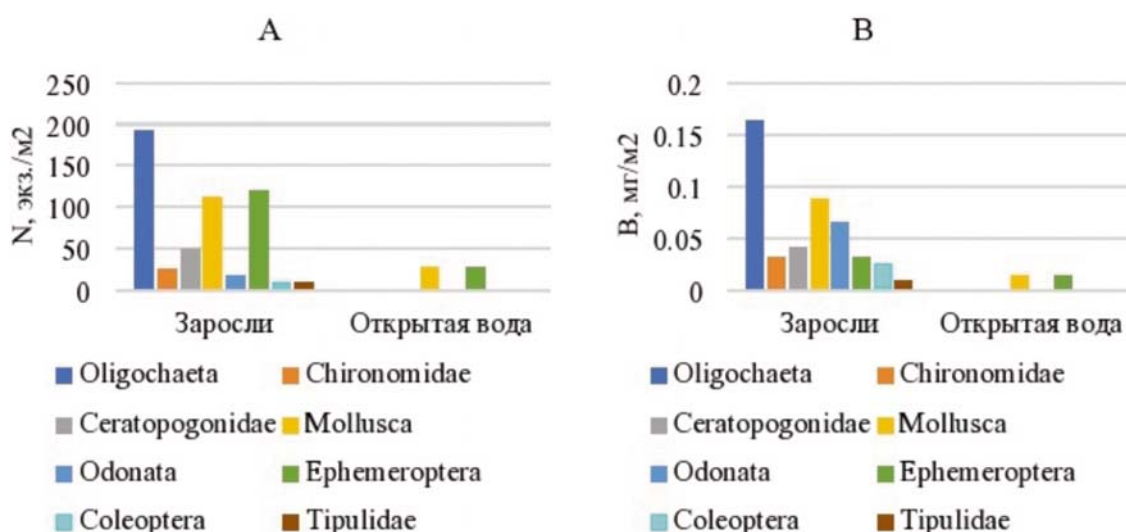


Рис. 6. Средняя численность (А) и биомасса (В) зообентоса оз. Лесного
Fig. 6. Average density (A) and biomass (B) of zoobenthos in Lake Lesnoye

состава макробентоса и снижение его количественных показателей. Общая биомасса представителей трех систематических групп – моллюсков, личинок стрекоз и поденок – составляла 0,36 г/м² при численности 200 экз./м². Из-за крупных размеров доминировали по биомассе личинки стрекоз – 55,6 %, а также моллюски – 33,3 % от общей биомассы зообентоса. К доминантам по численности относились поденки, составляя 40 % от общей численности бентоса. В прибрежном биотопе на границе зарослей хвоща и открытой воды с черно-серыми илами с растительными остатками и сернистым запахом обнаружены только моллюски (половина общей биомассы и 67 % от общей численности зообентоса) и личинки типулин. Здесь биомасса снижалась до 0,08 г/м² при численности бентосных организмов 120 экз./м². В аналогичном биотопе в центральной части озера, где отмечены желто-серые илы с гнилостным запахом, количественные показатели зообентоса были еще более низкие. Равную долю в общую биомассу макрозообентоса (0,076 г/м² при численности 80 экз./м²) вносили мокрецы и поденки.

В открытой воде с жидкими илами коричневого цвета и присутствием гнилостного запаха моллюски и личинки поденок также имели низкую биомассу 0,08 г/м² при численности 160 экз./м². На двух других станциях открытой воды в центральной части озера бентосных организмов в пробах не обнаружено.

Таким образом, илонакопление в озере Лесном отразилось на крайне низком уровне развития зообентоса, средняя биомасса которого не превышала 0,1 г/м². Помимо того, в его составе преобладают труднодоступные для рыб кормовые организмы, что также является лимитирующим фактором для пастбищной технологии выращивания рыб.

Озеро Лесное – типичный окунево-плотвичный малый водоем заболачивающихся среднетаежных ландшафтов. Окунь преобладал как в исследовательских, так в любительских уловах, что отражает его более многочисленную популяцию в озере. Данный вид может обитать в сильно дистрофизированных озерах с бедной кормовой базой за счет способности к каннибализму. Окунь толерантен к закислению воды и при сукцессии озер в сторону гумификации остается единственным видом [Жаков, 1984].

У исследованных экземпляров окуня, плотвы и щуки наполнение желудочно-кишечного тракта колебалось от 0 до 5 баллов, но у большинства рыб составляло 1–2 балла, степень ожирения внутренностей была в пределах 1–4 балла, преобладали особи с показателями 1–2 балла. Эти невысокие показатели отражают

неблагоприятные условия обитания, влияющие на откорм рыб, особенно молоди, при низком уровне развития зоопланктона и зообентоса. В результате формируются тугорослые популяции, что демонстрирует размерно-возрастная структура уловов. Так, окунь в возрасте 2+–8+ лет имел длину 9–20 см и массу 70–184 г. Длина плотвы в возрасте 4+–7+ была 13–19 см при массе 37–155 г, а щука в возрасте 3+–4+ достигала длины всего 26–32 см и массы 270–330 г. Таким образом, кормовые условия озер не соответствуют вселению новых видов, что подтверждается состоянием рыбного населения. Присутствие же щуки как крупного хищника препятствует применению технологии пастбищного рыбоводства, связанного с выпуском мелкого рыбопосадочного материала.

Заключение

Основным теоретическим положением методологического алгоритма исследования озера Лесного служило представление о генезисе территории в краевых зонах покровного оледенения Северо-Запада, определяющем особенности морфологии и современного состояния озер как структурных элементов ландшафта. Учет ландшафтной обусловленности лимнологических процессов позволил выделить ключевые показатели комплексных исследований мелководного малого оз. Лесного как модельного водоема, типичного для широко распространенных среднетаежных ландшафтов. При планировании использования малых озер в целях аквакультуры следует учитывать общую направленность лимнологических процессов, создающих комплекс лимитирующих факторов для технологий садкового и пастбищного выращивания рыб. Показано, что с илонакоплением при поступлении с болотного водосбора трудноразлагаемой органики связана гумификация и дистрофикация малых озер, где создаются неблагоприятные условия обитания для рыб.

Данную закономерность подтвердили исследования на территории Харовского округа других малых водоемов, несмотря на отличия в их происхождении и морфологии. Это касается оз. Сохтинского подпрудного провального происхождения с очень малой площадью 5,9 га с преобладанием мелководных участков. Водоем представляет собой расширение вытекающей из оз. Лесного реки Сохты с накоплением илов в воронке глубиной 14,5 м [Болотова и др., 2025]. Озеро Мухинское, расположенное в соседнем Харовском моренном холмистом возвышенном среднетаежном ландшафте, как и озеро Лесное, относится к остаточным

последнеледниковым водоемам. Озеро также имеет овальную форму, развитую сплаvinу, но значительно меньшую площадь зеркала 8 га, а также иную форму котловины с глубиной в центральной части озера около 18 м, заполненной сапропелем. В обоих озерах, как и в оз. Лесном, происходит интенсификация процессов заиления, зарастания, цветения воды, закисления грунтов, ухудшения газового режима, снижения уровня развития кормовой базы [Арашин, 2024]. Таким образом, результаты исследования модельного водоема возможно аппроксимировать на другие водоемы среднетаежных ландшафтов в рамках адекватного выбора и планирования использования водного фонда в целях аквакультуры.

В отношении освоения мелководных малых озер следует учитывать их быструю трансформацию при любом дополнительном воздействии. Поэтому если современное состояние позволяет использовать озера в целях аквакультуры, то неизбежны экологические риски пролонгированного негативного влияния: усиление загрязнения водоемов, распространение заболеваний рыб, а также возникновение проблемы «генетического загрязнения» и саморасселения [Павлов, Махров, 2020]. Помимо того, использование водных объектов в целях аквакультуры требует учета других видов антропогенной нагрузки и выявления социально-экономических рисков.

Литература

- Авдошенко Н. Д., Комиссаров В. В., Ляпкина А. А., МаксUTOва Н. К. Изучение природы административного района (на примере Харовского района Вологодской области). Вологда: ВГПИ, 1984. 58 с.
- Арашин С. Ю. Зоопланктоценоз малого лесного озера Мухинского (Харовский округ Вологодской области) // Исследования Русского Севера: Материалы VIII Всерос. конф. (Вологда, 20–24 марта 2024 г.). Вологда, 2024. С. 451–457.
- Атлас Вологодской области: учебное пособие / Ред. Е. А. Скупинова. Череповец: Порт-Апрель, 2007. 108 с.
- Багров А. М., Мамонтов Ю. П. Анализ некоторых аспектов «Стратегии развития аквакультуры России на период до 2020 года» // Рыбное хозяйство. 2008. № 2. С. 18–23.
- Богословский Б. Б. Озероведение. М.: Изд-во МГУ, 1960. 335 с.
- Болотова Н. Л., Лопичева О. Г., Мухин И. А., Арашин С. Ю. К вопросу использования в целях аквакультуры малых озер среднетаежных ландшафтов Вологодской области // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы III Междунар. конф. 2025. С. 600–605.
- Болотова Н. Л. Направления исследований ландшафтов Вологодской области на примере Харовского муниципального района // Исследования Русского Севера: Материалы VI Всерос. конф. (Вологда, 6–10 апреля 2022 г.). Вологда, 2022. С. 9–13.
- Воробьев Г. А. Ландшафтная обусловленность лимногенеза и антропогенное эвтрофирование малых озер // Антропогенные изменения экосистем малых озер (причины, последствия, возможность управления). Часть 1. СПб., 1991. С. 79–82.
- Жаков Л. А. Формирование и структура рыбного населения озер Северо-Запада СССР. М.: Наука, 1984. 144 с.
- Козлов А. В. Типизация и биоиндикация малых водоемов фермерских хозяйств для их рыбохозяйственного использования: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2005. 19 с.
- Курашов Е. А., Крылова Ю. В., Митрукова Г. Г., Чернова А. М. Летучие низкомолекулярные метаболиты водных макрофитов, произрастающих на территории России, и их роль в гидрозкосистемах // Сибирский экологический журнал. 2014. № 4. С. 573–591.
- Курбатова С. А., Лаптева Н. А., Быкова С. Н., Ершов И. Ю. Водные растения как фактор, меняющий трофические связи и структуру сообществ зоопланктона и микроперифитона // Известия РАН. Серия биологическая. 2019. № 3. С. 302–311. doi: 10.1134/S0002332919030056
- Малоземова О. В. Морфометрическая характеристика озер в различных ландшафтах Востока Ленинградской области // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2012. № 144. С. 112–121.
- Методы гидробиологических исследований внутренних вод / Ред. А. В. Крылов. Борок: Филигрань, 2024. 557 с.
- Озерные ресурсы Вологодской области / Ред. А. А. Ляпкина, Н. Н. Шевелев. Вологда: ВГПИ, 1981. 151 с.
- Определение гидрографических характеристик картографическим способом: рекомендации Р 52.08.874-2018 / Министерство природных ресурсов и экологии РФ. СПб.: Росгидромет, 2018. 172 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Ред. В. Р. Алексеев. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / Ред. С. Я. Цалолыхин. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. 457 с.
- Орлова Н. И. Определитель сосудистых растений Вологодской области. Вологда: Русь, 1997. 264 с.
- Павленко В. И., Новоселов А. П., Студенов И. И., Семушин А. В., Торцев А. М. Перспективные направления пресноводной аквакультуры на Европейском Севере России // Арктика: экология и экономика. 2017. № 2(26). С. 105–116. doi: 10.25283/2223-4594-2017-2-105-116
- Павлов Д. С., Махров А. А. Аквакультура и ее влияние на дикие популяции лососевых // Ассоциация сторонников сохранения лососевых видов рыб [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://ru.russiansalmon.org/info/aquaculture/> (дата обращения: 16.09.2025).
- Паламарь-Мордвинцева Г. М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Зеленые водоросли. Л.: Наука, 1982. 620 с.

Плотников Г. К., Пескова Т. Ю., Шкуте А., Пу-
пиня А., Пупиньш М. Основы ихтиологии. Сборник
классических методов ихтиологических исследова-
ний для использования в аквакультуре. Даугавпилс:
Сауле, 2018. 253 с.

Природа Вологодской области / Ред. Г. А. Во-
робьев. Вологда: Вологжанин, 2007. 434 с.

Садчиков А. П., Кудряшов М. А. Экология при-
брежно-водной растительности. М.: НИА-Природа,
РЭФИА, 2004. 220 с.

Степанов М. В., Болотова Н. Л. Рыболовство
и рыбное хозяйство // Животный мир Вологодской
области. Вологда: Изд-во ВоГУ, 2021. С. 298–323.

Харовск: Краеведческий альманах. Вологда:
Русь, 2004. 416 с.

Экологический справочник для рыбоводной
промышленности Северо-Запада России. Helsinki:
Nykypaino, 2013. 109 с.

Karlsson J., Byström P., Ask J., Ask P., Persson L.,
Jansson M. Light limitation of nutrient-poor lake ecosys-
tems // *Nature*. 2009. Vol. 460. P. 506–509. doi: 10.1038/
nature08179

Kuczyńska-Kippen N. Zooplankton structure in
architecturally differentiated macrophyte habitats of
shallow lakes in the Wielkopolska Region, Poland // *Inter-
national Journal of Oceanography and Hydrobiology*.
2006. Vol. 35, no. 2. P. 179–191.

Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav
Fischer Verlag, 1991a. B. 2, no. 3. 576 s.; 1991b. B. 2,
no. 4. 437 s.

References

Alekseev V. R. (ed.). A key to zooplankton and zoo-
benthos of the freshwater bodies in the European part
of Russia. Vol. 1. Zooplankton. Moscow: KMK; 2010.
495 p. (In Russ.)

Arashin S. Yu. Zooplankton of small forest Lake Mu-
khinskoye (Kharovsky District, Vologda Region). *Issle-
dovaniya Russkogo Severa: Materialy VIII Vseros. konf.*
(Vologda, 20–24 marta 2024 g.) = *Research of the Russian
North: Proceedings of the VIII All-Russ. conf.* (Vologda,
March 20–24, 2024). Vologda; 2024. P. 451–457. (In Russ.)

Avdoshenko N. D., Komissarov V. V., Lyapkina A. A.,
Maksutova N. K. Study of the nature of an administrative
region (based on the Kharovsky District of the Vologda
Region). Vologda: VGPI; 1984. 58 p. (In Russ.)

Bagrov A. M., Mamontov Yu. P. Analysis of some
aspects of the *Strategy for the Development of Aqua-
culture in Russia through 2020*. *Rybnoe khozyaistvo =
Fisheries*. 2008;2:18–23. (In Russ.)

Bogoslovskii B. B. Limnology. Moscow: MGU; 1960.
335 p. (In Russ.)

Bolotova N. L. Directions for landscape research in
the Vologda Region using the Kharovsky Municipal Dis-
trict as an example. *Issledovaniya Russkogo Severa:
Materialy VI Vseros. konf.* (Vologda, 6–10 aprelya
2022 g.) = *Research of the Russian North: Proceedings
of the VI All-Russian conf.* (Vologda, April 6–10, 2022).
Vologda; 2022. P. 9–13. (In Russ.)

Bolotova N. L., Lopicheva O. G., Mukhin I. A.,
Arashin S. Yu. On the issue of using small middle-tai-
ga landscapes of the Vologda Region for aquaculture

purposes. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya:
Materialy III Mezhdunar. konf.* = *Lakes of Eurasia: Prob-
lems and solutions: Proceedings of the III Int. conf.* 2025.
P. 600–605. (In Russ.)

Determination of hydrographic characteristics by
the cartographic method: recommendations R
52.08.874-2018. Ministry of Natural Resources and En-
vironment of the Russian Federation. St. Petersburg:
Roshydromet; 2018. 172 p. (In Russ.)

Ecological handbook for the fish farming industry
of Northwest Russia. Helsinki: Nykypaino; 2013. 109 p.
(In Russ.)

Golikova N. I. (ed.). Kharovsk: Local history almanac.
Vologda: Rus'; 2004. 416 p. (In Russ.)

Karlsson J., Byström P., Ask J., Ask P., Persson L.,
Jansson M. Light limitation of nutrient-poor lake eco-
systems. *Nature*. 2009;460:506–509. doi: 10.1038/
nature08179

Kozlov A. V. Typification and bioindication of small re-
servoirs of farms for their fisheries use: Summary of PhD
(Cand. of Biol.) thesis. Moscow; 2005. 19 p. (In Russ.)

Krylov A. V. (ed.). Methods of hydrobiological studies
of inland waters. Borok: Filigran'; 2024. 557 p. (In Russ.)

Kuczyńska-Kippen N. Zooplankton structure in ar-
chitecturally differentiated macrophyte habitats of shal-
low lakes in the Wielkopolska Region, Poland. *Inter-
national Journal of Oceanography and Hydrobiology*.
2006;35(2):179–191.

Kurashov E. A., Mitrukova G. G., Krylova J. V.,
Chernova A. M. Low-molecular-weight metabolites of
aquatic macrophytes growing on the territory of Rus-
sia and their role in hydroecosystems. *Contemporary
Problems of Ecology*. 2014;7(4):433–448. doi: 10.1134/
S1995425514040064

Kurbatova S. A., Lapteva N. A., Bykova S. N., Yer-
shov I. Y. Aquatic plants as a factor that changes trophic
relations and the structure of zooplankton and micro-
periphyton communities. *Biology Bulletin*. 2019;46(3):
284–293. doi: 10.1134/S1062359019030051

Lyapkina A. A., Shevelev N. N. (eds.). Lake resources
of the Vologda Region. Vologda: VGPI; 1981. 151 p.
(In Russ.)

Malozemova O. V. The morphometric description
of lakes in the areas of the east of the Leningrad Region.
*Izvestiya RGPU im. A. I. Gertsena = Bulletin of Herzen State
Pedagogical University*. 2012;144:112–121. (In Russ.)

Orlova N. I. An identification guide to vascular plants of
the Vologda Region. Vologda: Rus'; 1997. 264 p. (In Russ.)

Palamar'-Mordvintseva G. M. An identification guide
to freshwater algae of the USSR. Green algae. Lenin-
grad: Nauka; 1982. 620 p. (In Russ.)

Pavlenko V. I., Novoselov A. P., Studenov I. I.,
Semushin A. V., Tortsev A. M. The perspective directions
of the fresh-water aquaculture in the European north of
Russia. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Eco-
logy and Economics*. 2017;2(26):105–116. (In Russ.).
doi: 10.25283/2223-4594-2017-2-105-116

Pavlov D. S., Makhrov A. A. Aquaculture and its
impact on wild salmon populations. *Assotsiatsiya sto-
ronnikov sokhraneniya lososevykh vidov ryb = Asso-
ciation of Salmon Conservation Supporters*. 2020.
(In Russ.). URL: <https://ru.russiansalmon.org/info/aquaculture/> (accessed: 16.09.2025).

Plotnikov G. K., Peskova T. Yu., Shkute A., Pupina A., Pupinš M. Fundamentals of ichthyology. A collection of classic methods of ichthyological research for use in aquaculture. Daugavpils: Saule; 2018. 253 p. (In Russ.)

Sadchikov A. P., Kudryashov M. A. Ecology of coastal-aquatic vegetation. Moscow: NIA-Priroda, REFIA; 2004. 220 p. (In Russ.)

Skupinova E. A. (ed.). Atlas of the Vologda Region: a study guide. Cherepovets: Port-Aprel; 2007. 108 p. (In Russ.)

Stepanov M. V., Bolotova N. L. Fisheries and fish industry. *Zhivotnyi mir Vologodskoi oblasti = Animal world of the Vologda Region*. Vologda: VoGU; 2021. P. 298–323. (In Russ.)

Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag; 1991. B. 2, no. 3. 576 p.; 1991. B. 2, no. 4. 437 p.

Tsalolikhin S. Ya. (ed.). A key to zooplankton and zoobenthos of the freshwater bodies in the European part of Russia. Vol. 2. Zoobenthos. Moscow: KMK; 2010. 457 p. (In Russ.)

Vorob'ev G. A. (ed.). Nature of the Vologda Region. Vologda: Vologzhanin; 2007. 434 p. (In Russ.)

Vorob'ev G. A. Landscape determination of limnogenesis and anthropogenic eutrophication of small lakes. *Antropogennye izmeneniya ekosistem mal'kh ozer (prichiny, posledstviya, vozmozhnost' upravleniya) = Anthropogenic changes in small lake ecosystems (causes, consequences, and management possibilities)*. Part 1. St. Petersburg; 1991. P. 79–82. (In Russ.)

Zhakov L. A. Formation and structure of fish populations in lakes of the Northwest USSR. Moscow: Nauka; 1984. 144 p.

Поступила в редакцию / received: 29.09.2025; принята к публикации / accepted: 30.09.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Болотова Наталья Львовна

д-р биол. наук, профессор кафедры биологии и химии
e-mail: bolotova.vologda@mail.ru

Мухин Иван Андреевич

канд. биол. наук, заведующий кафедрой геоэкологии, природопользования и экологической безопасности
e-mail: periphyton35@gmail.com

Лопичева Ольга Георгиевна

аспирант кафедры биологии и химии
e-mail: olga2008.08@bk.ru

Арашин Сергей Юрьевич

аспирант кафедры биологии и химии ВоГУ, старший лаборант лаборатории экологии водных беспозвоночных ИБВВ РАН
e-mail: ar.serg@rambler.ru

CONTRIBUTORS:

Bolotova, Natalia

Dr. Sci. (Biol.), Professor

Mukhin, Ivan

Cand. Sci. (Biol.), Head of Department

Lopicheva, Olga

Doctoral Student

Arashin, Sergey

Doctoral Student, Senior Laboratory Assistant