

**Е. А. Севостьянова, А. В. Ляхов
Н. А. Цупикова, А. С. Меньшенин**

**МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОТЛОВИН
МАЛЫХ ВОДОЕМОВ КАЛИНИНГРАДА
НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ПРУДОВ ЛЕТНЕГО И ЗИМНЕГО**

Калининградский государственный технический университет,

Калининград, Россия

Поступила в редакцию 02.03.2025 г.

Принята к публикации 12.04.2025 г.

doi: 10.5922/vestniknat-2025-2-7

117

Для цитирования: Севостьянова Е. А., Ляхов А. В., Цупикова Н. А., Меньшенин А. С. Морфометрические особенности котловин малых водоемов Калининграда на примере системы прудов Летнего и Зимнего // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №2. С. 117 – 129. doi: 10.5922/vestniknat-2025-2-7.

Рассматриваются морфометрические характеристики системы водоемов Летний – Зимний Калининграда как факторы, потенциально способные оказывать влияние на экологическое состояние малых искусственных водоемов. По результатам гидроакустической съемки, проведенной при помощи программно-аппаратного комплекса «АсКор», в ходе которой в реальном режиме времени осуществлялась совместная фиксация информации о текущей глубине и географических координатах исследуемого участка дна, впервые построены карты рельефа дна прудов. Были определены основные морфометрические показатели: площадь водной поверхности, форма котловины и объем заключенной в ней водной массы, длина и коэффициент изрезанности береговой линии, ширина, глубины (средняя и максимальная), площадь водосборного бассейна, показатель удельного водосбора и др. Исследованные водоемы относятся к прудам-копаням, отличаются небольшими размерами, малыми глубиной и площадью водосборного бассейна. Отмечено, что в подобных экосистемах могут наблюдаться кратковременные колебания водности и гидрохимических характеристик, обусловленные как природными (атмосферные осадки, грунтовые воды), так и антропогенными факторами (регулирование стока). Подчеркивается, что сохранение благоприятных экологических условий в водоемах возможно в случае грамотного благоустройства с учетом особенностей морфологии котловины, биогенной нагрузки, поступающей с территории водосборного бассейна.

Ключевые слова: морфометрические характеристики, батиметрия, рельеф дна, пруд Летний, пруд Зимний

Введение

Многообразие функций водоемов, расположенных на городской территории, обусловлено их ролью в качестве элемента эколого-природного каркаса и хозяйственно-бытовой, культурологической, эстети-



ческой и научно-образовательной значимостью в жизни горожан. При городском планировании водные объекты обычно предназначаются для рекреационных целей, достижению которых часто препятствует отсутствие правильно организованной системы управления водоемами и их эксплуатации. Вызываемая этим деградация экосистем приводит к необходимости проведения комплекса биоинженерных мероприятий по их экологической реабилитации с учетом знания особенностей водных объектов, которые на настоящий момент для многих существующих малых водоемов, новообразованных карьеров и копаней отсутствуют [6; 7].

Изучение состояния водоемов при их очистке и благоустройстве является важным этапом планирования и реализации любого проекта. Морфометрические параметры водоемов влияют на происходящие внутри толщи воды гидрохимические и биологические процессы, определяя особенности термического режима, стратификации и перемешивания вод, газообмена. Эти составляющие, в свою очередь, определяют особенности изменения качества воды, продуктивности водоемов и их дальнейшую способность к самоочищению [13 – 19].

Система, состоящая из прудов Летнего и Зимнего, расположена в южной части Калининграда, в районе ул. Судостроительной и Летней. Координаты центров водоемов: 54.67590 с.ш., 20.48775 в.д. (пруд Летний), 54.6799 с.ш. 20.4911 в.д. (пруд Зимний).

Пруды имеют искусственное происхождение. Их возникновение связано с работой пивоваренного завода «Ponarth», постройка которого началась в 1849 г. Пруды Хубертуса и Лебединый (названия прудов Летнего и Зимнего в довоенный период истории Калининграда) использовали для заготовки льда для охлаждения пива. Со временем они стали местами отдыха горожан и утратили прямое назначение. Несмотря на явное антропогенное происхождение, калининградцам водоемы известны как озера Летнее и Зимнее. Пруды составляют единую систему, соединенную каналом МПО-5а. Воды прудов через канал попадали в реку Товарную – левобережный приток р. Преголи, главной водной артерии города.

В 2019 г. на пруду Летнем проводилась реконструкция береговой зоны. За время работ было выполнено берегоукрепление и обустройство окружающей территории, однако в план не входила очистка самого ложа. Проведенные мероприятия не остановили ухудшение качества воды, на что регулярно обращают внимание местное население и региональные власти. После благоустройства южная протока, по которой воды канала попадали в пруд Летний, была перекрыта, что с течением времени привело к понижению уровня воды. На данный момент связь с каналом восстановлена и регулируется задвижным механизмом, обеспечивающим возможность пополнения водоема водами канала.

В настоящее время остро стоит необходимость проведения дополнительных работ по улучшению состояния канала МПО-5а и системы прудов Летнего и Зимнего. Данные по морфометрии водных объектов в дальнейшем могут быть использованы для планирования комплекса восстановительных мероприятий.



Модели и методы

В работе использовались данные гидроакустической съемки, проводившейся в апреле 2022 г. до начала активного периода вегетации (табл. 1). На момент съемки связь между прудом Летним и каналом МПО-5а была приостановлена. Для съемки использован эхолот Lowrance HDS-16 на базе комплекса «AsCor», который позволяет записывать данные о глубинах вместе с пространственной привязкой в режиме реального времени. Во время съемки лодка двигалась по схеме галсов по типу меандра.

Таблица 1

119

**Основные показатели гидроакустической съемки
прудов Летнего и Зимнего в 2022 г.**

Показатель	Пруд	
	Летний	Зимний
Общее количество точек глубин, зарегистрированных во время гидроакустической съемки	5841	3431
Доля отбракованных измерений, %	4,3	3,6
Количество качественных измерений	5589	3307

На основании полученных данных была выполнена обработка в среде электронных таблиц Excel и специализированных программах (Golden Software Surfer) и (ArcGIS) для выявления ошибок и искажений в записях.

Интерполяция величин глубин для построения цифровой модели рельефа дна была произведена при помощи программного обеспечения Golden Software «Surfer» с использованием метода «Крикинг».

За время съемки были зафиксированы 5841 и 3431 точек глубин для Летнего и Зимнего соответственно, из которых доля отбракованных измерений составила 4,3 и 3,6 %.

Результаты и обсуждение

Ретроспективный анализ карт за 1907–2023 гг. показал, что пруд Летний стал меньше — в основном из-за скругления юго-восточного берега пруда. Преобразилась и северная часть водоема: выполнена засыпка северного канала, отводившего воды к пивоварне. На его месте сейчас располагаются корпуса городской больницы. Современные очертания пруд Летний приобрел в 1940-х гг. (рис. 1).

Очертания пруда Зимнего, напротив, изменялись мало. На Фарусплане 1907 г. не отображен канал МПО-5а, впервые он появляется на карте «Kreis Königsberg i. Pr. mit Samland» 1928 г. Предположительно свое начало канал берет в районе окружной дороги, образуя русловой водоем — озеро Пеньковое, на месте которого до середины прошлого столетия на картах отмечалось болото.

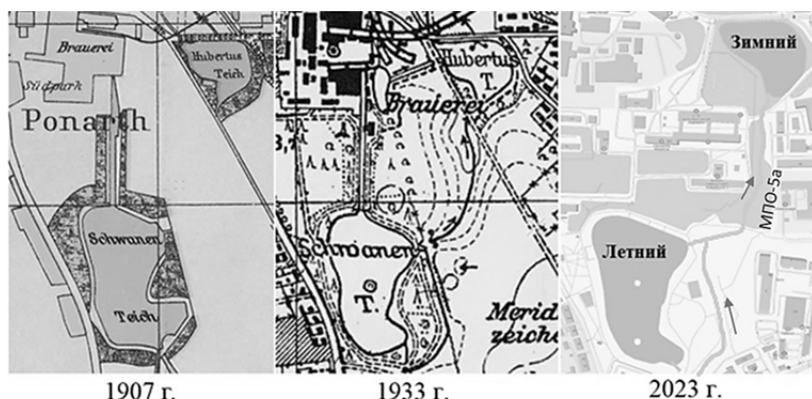


Рис. 1. Изменение очертаний прудов Летнего и Зимнего [12]

Пруд Зимний также сооружен непосредственно на канале МПО-5а. Связь канала через небольшие соединительные протоки с прудом Летним на момент работ практически полностью утрачена.

Морфологические особенности водоемов в значительной степени обусловлены происхождением их котловин. В таблице 2 приведены основные морфометрические характеристики исследованных водных объектов.

Таблица 2

Основные морфометрические параметры прудов Летнего и Зимнего

Показатель	Пруд	
	Летний	Зимний
Длина, км	0,30	0,17
Ширина средняя, км	0,10	0,09
Ширина максимальная, км	0,16	0,12
Площадь водной поверхности, га (без учета островов)	3,1	1,5
Глубина средняя, м	0,7	1,3
Глубина максимальная, м	1,2	1,8
Объем воды, тыс. м ³	21,0	18,0
Протяженность береговой линии, км	0,8 (без островов)	0,5
Изрезанность береговой линии	1,3	1,2
Коэффициент удлиненности	2,9	1,9
Коэффициент глубинности	0,02	0,05
Форма озерной котловины	Полуэллипсоид	Полуэллипсоид
Площадь водосборного бассейна, га	Около 5 (без канала МПО-5а)	Около 4 (с учетом канала МПО-5а)
Удельный водосбор	1,6	2,5

Существующее многообразие водоемов позволяет классифицировать их по размеру, однако единой точки зрения относительно критериев и четкого определения малого водоема до сих пор не существует [2; 8]. Кроме того, все чаще поднимаются вопросы по терминологическому отнесению водных объектов и их типизации [1; 10; 15; 16].

В. М. Широков и И. И. Кирвель [11] относят подобные пруды в Беларуси (с объемом вод до 100 тыс. м³) к малым. По средней глубине [4] пруды Летний и Зимний очень малые, по максимальной — водоемы с очень малой глубиной. Нормативные документы [3] предлагают следующую классификацию водоемов по морфометрическим признакам: пруды Летний и Зимний — малые водоемы, с малым объемом вод и очень малой максимальной глубиной. Небольшие водоемы имеют, естественно, более высокую концентрацию биогенных веществ в воде и отложениях, чем более крупные системы (например, озера), их уровень продуктивности преимущественно варьируется в пределах от мезотрофного до эвтрофного или гиперэвтрофного. Некоторые типы городских прудов особенно богаты биогенными веществами, например пруды, принимающие поверхностные сточные воды, в том числе ливневые, мелководные, хорошо прогреваемые, перенаселенные рыбой, или пруды, являющиеся местом обитания больших популяций птиц. Часто аккумуляция биогенных веществ является результатом перекармливания птиц горожанами [16].

Коэффициент емкости котловины обоих прудов характеризует их форму как полуэллипсоидную. Такая форма водоемов широко распространена в Калининграде [5; 9]. Согласно коэффициенту удлинённости, пруды округлые, пруд Зимний — ближе к овальной форме. Береговая линия исследуемых водоемов слабоизрезанная, высота берегов до 3 м (у Летнего — меньше).

Пруд Летний — мелководный водоем. Глубины, в большинстве своем не достигающие 1 м, в южной и центральной частях увеличиваются плавно (рис. 2). Глубина пруда является благоприятной для развития водно-болотной растительности. Установлено, что большинство надводных растений произрастает там, где глубина воды составляет менее 0,6–0,8 м [16].

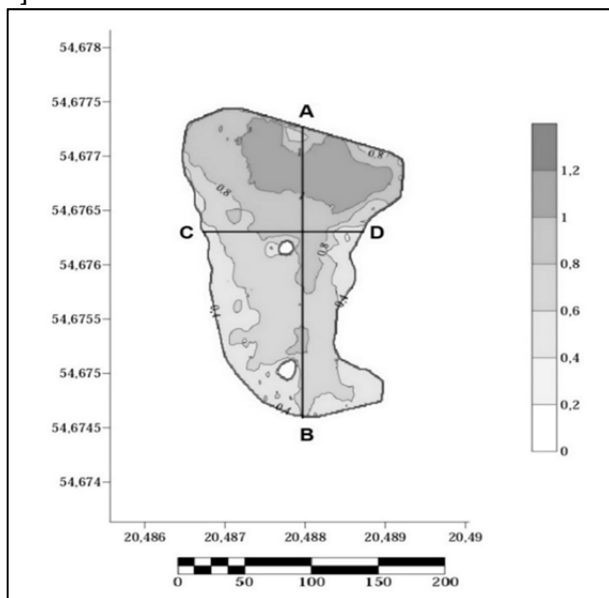


Рис. 2. Батиметрическая карта пруда Летнего

Крутизна подводного берегового склона по линии АВ достигает 5° . Северная часть пруда имеет чуть большие глубины, особенно на северо-востоке, где обнаружена максимальная отметка (1,2 м). По линии CD крутизна менее 2° (рис. 3). Эта зона расположена около моста, под которым воды Летнего в периоды повышения уровня воды соединяются протокой с каналом МПО-5а. В годы стояния пониженного уровня, когда связь между прудами была нарушена (вследствие перекрытия питания из канала МПО-5а), углубление в рельефе дна совпадало с направлением вытекавшего водотока. В пруду имеются два небольших острова, являющихся пристанищем для многочисленных водоплавающих птиц.

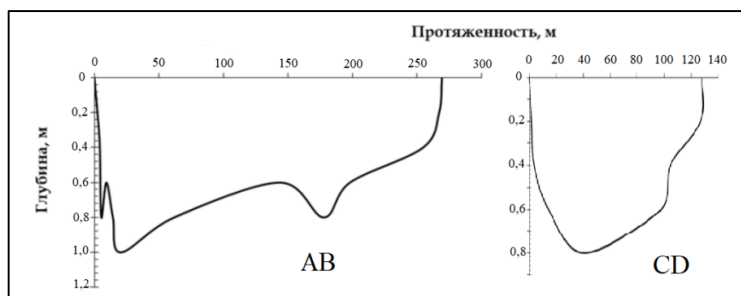


Рис. 3. Батиметрические профили пруда Летнего

Пруд Зимний несколько глубже Летнего. Глубины в нем достигают 1,8 м. Большие глубины также характерны для северной части. Наименьшие глубины отмечаются на юге, в месте впадения вод канала МПО-5а, и в западной стороне пруда (рис. 4).

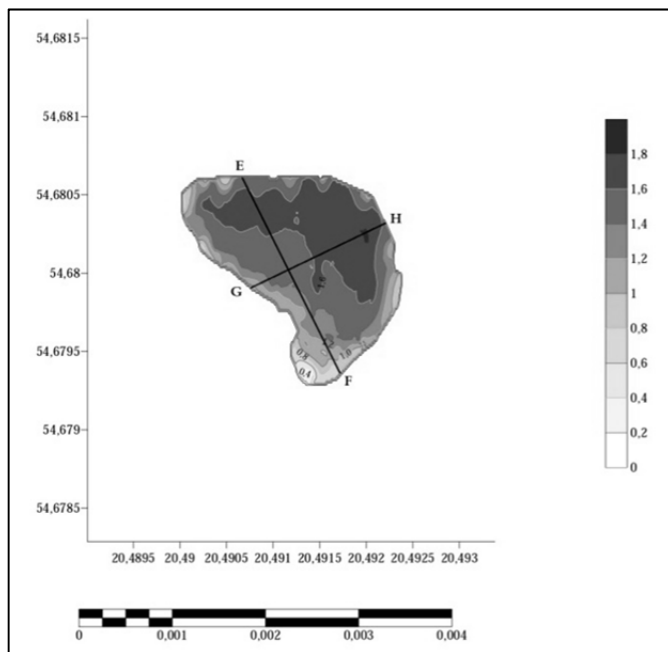


Рис. 4. Батиметрическая карта пруда Зимнего



Глубины здесь изменяются так же плавно, как и в южной части Летнего. Остальные склоны Зимнего имеют больший уклон — до 16° в месте перелива вод Зимнего в канал, который далее забирается в трубу. В среднем по остальным частям водоема уклон около $5-7^\circ$ до глубин 1,5 м.

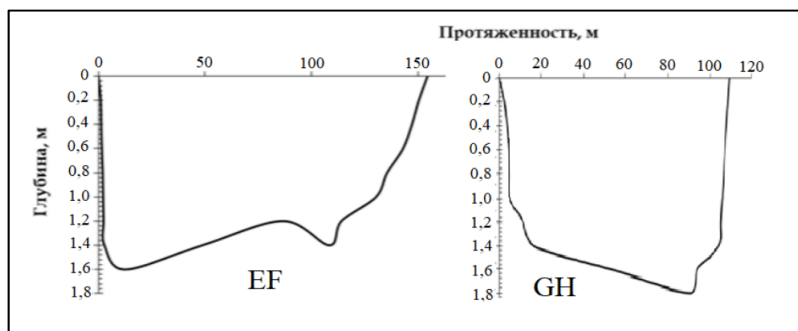


Рис. 5. Батиметрические профили пруда Зимнего

В связи с отмиранием активно развивающейся высшей водной растительности дно покрыто слоем илистых отложений в обоих водоемах.

В пруду Летнем преобладают глубины до 0,6 м, в Зимнем — до 1,2 м. В Летнем объем воды между изобатами линейно уменьшается с глубиной. В пруду Зимнем изменения объема и площади указывают на равномерное распределение воды по глубинам как у берега, так и на глубине около 1 м, которая здесь занимает большую площадь, чем в Летнем. Это позволяет Зимнему пруду иметь схожий с Летним объем воды, несмотря на меньшую площадь поверхности (рис. 6).

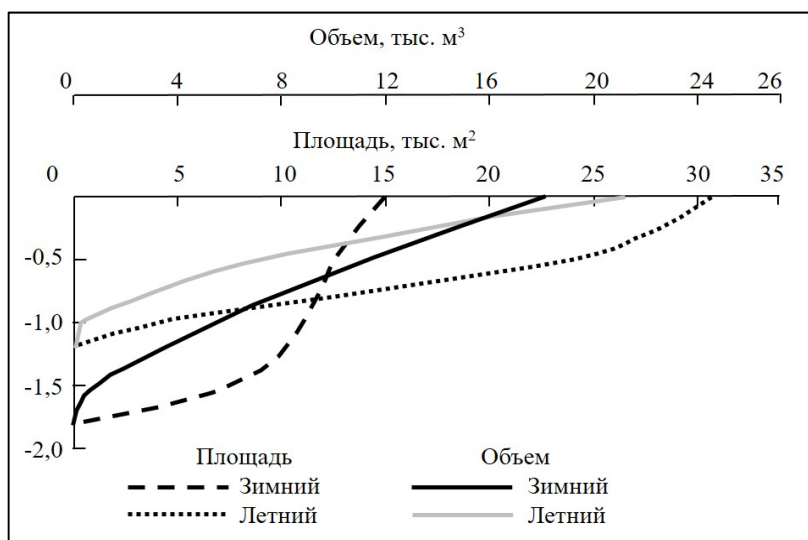


Рис. 6. Батиграфические кривые прудов Зимнего и Летнего

Несмотря на сходство морфометрических характеристик водоемов, они отличаются гидрологическим режимом. Пруд Зимний проточный, его водный баланс, гидрохимические параметры сильно зависят от водности канала МПО-5а. По площади водосборного бассейна пруд Летний можно отнести к категории очень малых, его водность связана с режимом грунтовых вод, атмосферных осадков, а также с искусственным регулированием посредством задвижного механизма. Бассейн с запада ограничен ул. Летней, на севере — городской больницей, на юге — жилой застройкой, на востоке — каналом МПО-5а и фактически совпадает с зеленой зоной отдыха, организованной на берегу пруда (рис. 7).

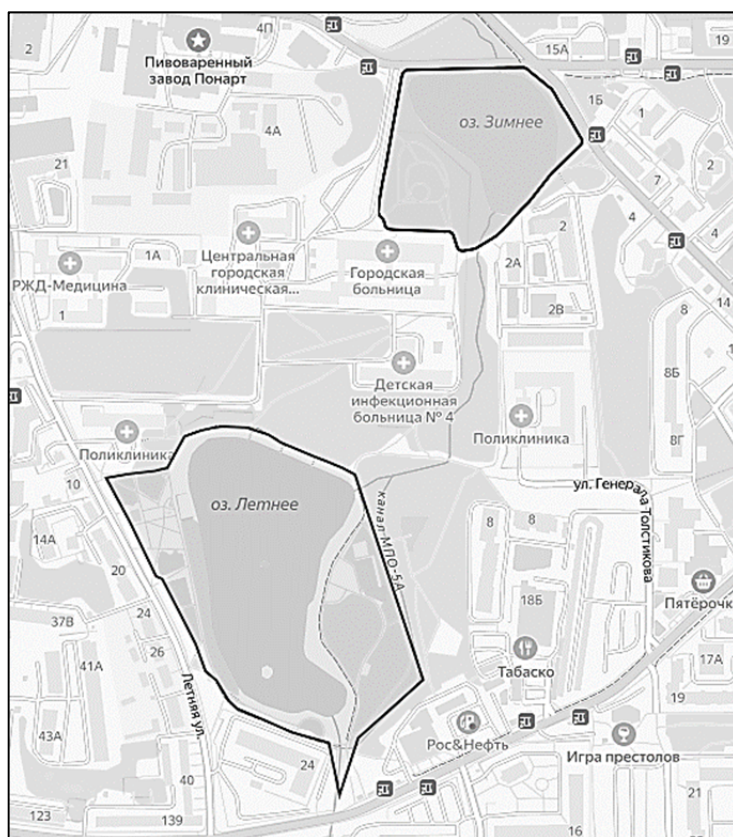


Рис. 7. Водосборные бассейны прудов Летнего и Зимнего (без учета канала МПО-5а)

Водосборный бассейн пруда Зимнего имеет меньшую площадь. Рекреационная зона вокруг пруда Зимнего развита слабее той, что создана на берегах пруда Летнего, и включает в основном узкую береговую полосу. На юге водосборный бассейн ограничен многоэтажной жилой застройкой, территорией больницы; на западе — подъездной дорогой к больнице; с остальных берегов — проезжей частью городских автодорог. Оба водоема обладают очень малым удельным водосбором.



Полученные данные позволили провести статистическую обработку материала и выявить статистически значимые связи для калининградских водоемов при анализе изменения гидрохимического состояния водоемов по отдельным показателям. К таковым можно отнести как среднюю, так и максимальную глубины, площадь водосборного бассейна и величину удельного водосбора. Для гидробиологических показателей достоверными являлись связи с долей мелководных участков, площадью водосборного бассейна и изрезанностью береговой линии.

Заключение

На экологическое состояние водоемов городской черты оказывает влияние ряд факторов, из которых к ключевым можно отнести морфометрические показатели. Исследованные водоемы по большинству исследованных параметров относятся к категории малых (по размеру, глубине, площади водосборного бассейна), что дает основания предполагать сниженную способность к самоочищению. Еще одной особенностью искусственных водоемов городской черты Калининграда, в частности прудов-копаней, является спрямление береговой линии в процессе благоустройства, что также характерно для исследуемой системы и может негативно влиять на гидробионтов, снижая разнообразие местообитаний.

Водосборная территория у пруда Летнего, на момент исследования ставшего непроточным водоемом, невелика. Это характерно для копаных городских прудов. Чаще ее размер не превышает площади поверхности самих водоемов или чуть больше их. Как правило, это связано с особенностью городских ландшафтов и преобладанием непроницаемых дорожных покрытий, сток с которых собирается в ливневую канализацию и может сбрасываться непосредственно в водоем для регулирования водного баланса окружающей территории. Для проточных систем величина водосборного бассейна способна увеличиваться, поэтому экологическое состояние малых водоемов будет сильно зависеть от качества поступающих вод. Подобные водоемы выполняют роль отстойников. В результате аккумуляции влекомого водотоком взвешенного материала можно наблюдать изменения в характере рельефа дна. Водосборная площадь Зимнего также невелика, что объясняется небольшой протяженностью канала до впадения в водоем, а также самой структурой водосбора МПО-5а, протекающего через плотно застроенную часть города. Водность рассматриваемых прудов будет сильно колебаться в течение года в зависимости от количества атмосферных осадков и интенсивности питания грунтовых вод. Гидрохимические характеристики могут демонстрировать разнонаправленную короткопериодную изменчивость, не связанную с сезонным ходом и обусловленную слабой устойчивостью к воздействиям внешних факторов вследствие малого объема вод.

Помимо колебания водности на состав воды в рассматриваемых водных объектах и в водоемах с подобными морфометрическими ха-



рактеристиками будут влиять процессы, происходящие не только в самой акватории, но и в окружающем ландшафте, а также антропогенные факторы. Предыдущие исследования подтверждали, что калининградские водоемы со схожими параметрами при условии грамотного благоустройства и регулярных поддерживающих мероприятий способны сохранять благоприятное экологическое состояние.

При планировании экологических мероприятий стоит учитывать характер и рельеф дна, возможную площадь зарастания и необходимую периодичность реабилитации. При изменении береговой полосы не следует отдавать предпочтение сужению берегов до очень узкой зоны с недостаточным растительным покрытием, зачастую заменяемой бетонными набережными. Это может снижать естественную способность водоемов к самоочищению за счет сокращения количества водной растительности и организмов, обитающих в прибрежной полосе, а также препятствовать фильтрации воды через естественные ландшафты.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР 01-44-002.2 «Изучение экологического состояния городских прудов Калининграда».

Список литературы

1. Алексанян Ю.В. Классификационные признаки городских водоемов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. №3. С. 87–100. EDN: XXGZTV.
2. Баишинский И.В. и др. Мир малых водоемов : коллективная монография. М., 2023.
3. ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. Введ. 01.07.1978. М., 2000.
4. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. М., 1984.
5. Кухарук Е.Д., Цупкиова Н.А. Морфометрическая характеристика пруда Поплавок (г. Калининград) // Вестник молодежной науки. 2022. №3 (35). doi: 10.46845/2541-8254-2022-3(35)-13-13. EDN: DQAYIU.
6. Ламков И.М., Чермошенцев А.Ю. Обоснование необходимости использования цифровой модели рельефа для изучения поверхности дна обводненных карьеров, расположенных на территории города Новосибирска // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. №2. С. 69–73. EDN: WAKDZJ.
7. Ламков И.М. К вопросу о необходимости установления водоохранных зон для обводненных карьеров на урбанизированных территориях // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2016. №1 (33). С. 210–216. EDN: WDHJVR.
8. Мякишева Н.В. Многокритериальная классификация озер. СПб., 2009.
9. Цупкиова Н.А., Лозицкая Е.А., Алдушин А.В. Морфометрические характеристики пруда Пелавского (г. Калининград) // Известия КГТУ. 2018. №49. С. 55–66. EDN: XNGJKP.
10. Шикалева П.В. Понятия «пруд» и «водохранилище» в водном праве России // Вестник Челябинского государственного университета. 2011. №24. С. 125–127. EDN: OXALSX.
11. Широков В.М., Кирвель И.И. Пруды Белоруссии. Минск, 1987.



12. Это место: старые карты России и мира онлайн. URL: <http://www.eto-mesto.ru/kaliningrad/> (дата обращения: 03.07.2024).
13. Avdan Z. Y., Kaplan G., Goncu S., Avdan U. Monitoring the water quality of small water bodies using high-resolution remote sensing data // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2019. Vol. 54, №12. P. 553. doi: 10.3390/ijgi8120553.
14. Chiandet A. S., Xenopoulos M. A. Landscape and morphometric controls on water quality in stormwater management ponds // Urban stems. 2016. Vol. 19. P. 1645—1663. doi: 10.1007/s11252-016-0559-8.
15. Martín Muñoz S., Schoelynck J., Tetzlaff D. et al. Assessing biodiversity and regulatory ecosystem services in urban water bodies which serve as aqua-Nature-based Solutions // Frontiers in Environmental Science. 2024. Vol. 11. P. 1304347. doi: 10.3389/fenvs.2023.1304347.
16. Oertli B., Parris K.M. Review: Toward management of urban ponds for freshwater biodiversity // Ecosphere. 2019. Vol. 10, №7. doi: 10.1002/ecs2.2810.
17. Richardson D. C., Holgerson M. A., Farragher M. J. et al. A functional definition to distinguish ponds from lakes and wetlands // Sci Rep. 2022. №12. 10472. doi: 10.1038/s41598-022-14569-0.
18. Steele M. K., Heffernan J. B. Morphological characteristics of urban water bodies: mechanisms of change and implications for ecosystem function // Ecological Applications. 2014. Vol. 24, №5. P. 1070—1084. doi: 10.1890/13-0983.1.
19. Zhou X., Zhang S., Liu Y. et al. Impact of urban morphology on the microclimatic regulation of water bodies on waterfront in summer: A case study of Wuhan // Building and Environment. 2022. Vol. 226. P. 109720. doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109720.

Об авторах

Екатерина Александровна Севостьянова — канд. биол. наук, специалист по учебно-методической работе, ассистент, Калининградский государственный технический университет, Россия.

E-mail: ekaterina.lozitskaya@klgtu.ru

ORCID: 0000-0002-3917-1953

SPIN-код: 1124-4783

Артём Владиславович Ляхов — магистрант, ведущий инженер кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, Калининградский государственный технический университет, Россия.

E-mail: artem.lyakhov@klgtu.ru

ORCID: 0009-0003-2663-0529

SPIN-код: 6836-1602

Надежда Александровна Цупикова — канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, Калининградский государственный технический университет, Россия.

E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

ORCID: 0009-0006-9823-5810

SPIN-код: 8281-9819

Александр Сергеевич Меньшенин — аспирант, зав. лабораториями кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, Калининградский государственный технический университет, Россия.

E-mail: aleksandr.menshenin@klgtu.ru

ORCID: 0009-0003-8276-8442

SPIN-код: 6842-9483



E. A. Sevostianova, A. V. Lyakhov
N. A. Tsupikova, A. S. Menshenin

**MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE SMALL URBAN WATER BODIES OF KALININGRAD
ON THE EXAMPLE OF THE LETNIY AND ZIMNIY PONDS SYSTEM**

Kaliningrad state technical university, Kaliningrad, Russia

Received 02 March 2025

Accepted 12 April 2025

doi: 10.5922/vestniknat-2025-2-7

128

To cite this article: Sevostianova E. A., Lyakhov A. V., Tsupikova N. A., Menshenin A. S., 2025, Morphological characteristics of the small urban water bodies of Kaliningrad on the example of the Letniy and Zimniy ponds system, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №2. P. 117 – 129. doi: 10.5922/vestniknat-2025-2-7.

This study examines the morphometric characteristics of the Letny – Zimny pond system in Kaliningrad as factors potentially influencing the ecological condition of small artificial water bodies. Based on hydroacoustic surveying conducted with the "AsCor" software-hardware complex, which simultaneously recorded current depth and geographic coordinates of the surveyed bottom areas in real time, bottom relief maps of the ponds were created for the first time. Key morphometric parameters were determined, including the surface area, basin shape, enclosed water volume, shoreline length and shoreline development index, width, depths (average and maximum), catchment area, specific runoff index, among others. The investigated water bodies are classified as excavation ponds, characterized by small size, shallow depth, and limited catchment areas. It was noted that such ecosystems may experience short-term fluctuations in water levels and hydrochemical characteristics, driven by both natural factors (precipitation, groundwater) and anthropogenic influences (flow regulation). The study emphasizes that maintaining favorable ecological conditions in these ponds is possible through proper management and development, taking into account the basin morphology and the biogenic load originating from the catchment area.

Keywords: morphometric characteristics, bathymetry, bottom relief, Letniy pond, Zimniy pond

The authors

Ekaterina A. Sevostianova, Associate Professor, specialist in educational-methodical work, assistant of the department of Water Bioresources and Aquaculture, KSTU, Russia.

E-mail: ekaterina.lozitskaya@klgtu.ru

ORCID: 0000-0002-3917-1953

SPIN-код: 1124-4783

Artem V. Lyakhov, student, engineer of the department of the Water Bioresources and Aquaculture, KSTU, Russia.

E-mail: artem.lyakhov@klgtu.ru

ORCID: 0009-0003-2663-0529

SPIN-код: 6836-1602



Dr. Nadezhda A. Tsupikova, Associate Professor of the Department of Water Bioresources and Aquaculture, KSTU, Russia.

E-mail: tsoupikova@klgtu.ru

ORCID: 0009-0006-9823-5810

SPIN-код: 8281-9819

Alexander S. Menshenin, PhD student, head of laboratories of the Department of Water Bioresources and Aquaculture, KSTU, Russia.

E-mail: aleksandr.menshenin@klgtu.ru

ORCID: 0009-0003-8276-8442

SPIN-код: 6842-9483