

Введение

В России насчитывается более 2.8 млн озёр (Encyclopedia..., 2012), различных по происхождению, размерам, глубине, минерализации вод, трофическому статусу и многим другим лимнологическим характеристикам. Республика Карелия относится к субъектам РФ с наибольшей озёрностью, которая достигает здесь 21 % за счет более 60 тыс. водоемов площадью от 1 га (0.01 км^2) (Озера..., 2013). При этом следует отметить, что всего только 1389 озёр Карелии имеют площадь более 1 км^2 , а подавляющая часть представлена малыми, в том числе неучтенными водоёмами площадью менее 0.01 км^2 .

Морфология выступает в качестве наиболее значимого признака, которым может быть охарактеризована природа водоёма, т. к. отражает особенности озёрного морфолитогенеза как совокупности процессов, которые формируют котловины озёр и преобразуют их при непосредственном участии рыхлых отложений в условиях динамичной среды и высокой энергии эндогенных и экзогенных процессов (Ефремов, 2003). Строение котловин напрямую сказывается на интенсивности внешнего и внутреннего водообмена озёр, на протекающих в них процессах (гидротермических, гидрохимических, гидробиологических и др.). Морфологические особенности водоемов выражаются через их морфометрические параметры, включая длину, ширину, глубину и т. д. Эти базовые измерения позволяют определить производные показатели, такие как удлиненность, развитие береговой линии, форма озерной чаши и т. д. Их изучение имеет большое значение для понимания лимнологического режима, сравнения и классификации водоемов, например, по площади, глубине, форме и т. д. (Китаев, 1984).

Район и объекты исследования

Заонежье является историко-географическим районом Республики Карелия и располагается в её юго-восточной части. Район включает Заонежский полуостров площадью около 2000 км^2 , являющийся крупнейшим полуостровом Онежского озера, а также ряд соседних полуостровов и островов, в том числе Кижский архипелаг и о. Кижы (Богданова, 2021) (рис. 1). Территория Заонежья выделяется в качестве самостоятельной единицы ландшафтного районирования по комплексу геолого-геоморфологических, климатических, геоботанических и др. факторов и условий (Сельговые..., 2013; Biogeography..., 2014 и др.). Также Заонежье выделяют в самостоятельный гидрографический район, который характеризуется развитой озёрно-речной сетью, насчитывающей более 50 водотоков и 250 водоёмов, озёрность его территории достигает 12 % (Григорьев,

Грицевская, 1959). Специфика гидрографической сети определяется геолого-геоморфологическими особенностями и геологической историей.

Исследуемый район располагается на юго-востоке Фенноскандинавского кристаллического щита вблизи его контакта с Русской плитой, в пределах Северо-Онежского (Онежского) палеопротерозойского (2.5—1.65 млрд лет) синклиория, залегающего на архейском (3.5—2.7 млрд лет) гранитогнейсовом фундаменте (Палеолимнология..., 2022). Для Заонежского полуострова характерна система складчато-разрывных нарушений северо-западного простирания, определяющая особенности его рельефа. Геоморфологические особенности территории определили преобладание аккумулятивного ледникового и водно-аккумулятивного рельефа на юго-востоке полуострова и денудационно-тектонического грядового (сельгового) рельефа на северо-западе (Демидов, 2005; Сельговые..., 2013). Современная гидрографическая сеть Заонежья начала формироваться в позднеледниковье (около 14 000 лет назад) по мере освобождения территории ото льда, образования и дальнейшего развития Онежского приледникового озера (Zobkov et al., 2019). Окончательно она оформилась только в голоцене (Палеолимнология..., 2022).

Научные исследования озёр Заонежья имеют более чем вековую историю. Экспедиционные изыскания на водоемах проводились партией Олонецкой научной экспедиции в 1920-е гг., Карельским отделением ГосНИОРХа в конце 1940-х гг., Карельским филиалом АН СССР в 1950—1980-е гг. (Фрейндлинг, Поляков, 1965; Озера..., 2013 и др.). Одним из итогов этих исследований стала публикация морфометрических данных по 12 крупнейшим водоемам: Яндомозеро (30.1 км²), Ладмозеро (24.0 км²), Путкозеро (21.1 км²), Космозеро (20.6 км²), Ниж. Пигмазеро (14.0 км²), Верх. Пигмазеро (10.4 км²), Падмозеро (10.0 км²), Ванчозеро (9.6 км²), Чужмозеро (5.6 км²), Гахкозеро (5.1 км²), Мягрозеро (5.0 км²), Валгомозеро (3.4 км²) (рис. 1) (Фрейндлинг, Поляков, 1965). Начиная с 2010-х гг. Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН в рамках тем госзадания и грантов РФ проводятся исследования озёрных котловин и заполняющих их донных отложений. Ранее были опубликованы морфометрические характеристики семи малых водоёмов Заонежского полуострова (Потахин, 2017), в настоящей работе приводятся данные по 10 малым озёрам, изученным в 2021—2025 гг.

Озёра Заонежья отличаются разнообразием морфологических параметров, при этом можно выделить ряд закономерностей их строения и размещения (Потахин, 2023). Для северо-запада района, где преобладает денудационно-тектонический грядовой рельеф, характерно чередование узких длинных гряд-сельг и таких же понижений. В понижениях преимущественно расположены водоёмы, которые характеризуются вытянутой и конусообразной формой котловин, а также

относительно большими глубинами. Они имеют тектоническое заложение, но так как их котловины были ориентированы по направлению движения ледника, то в значительной степени подверглись его экзарационному воздействию. Таким образом, котловины на этой территории могут быть охарактеризованы как водоёмы экзарационно-тектонического генезиса. На юго-востоке, где представлен ледниково-аккумулятивный и водно-аккумулятивный типы рельефа, озёра получили меньшее распространение (озёрность территории падает до 5 %). Здесь представлены водоёмы ледникового генезиса с простыми аккумулятивными котловинами, образовавшимися в понижениях между положительными формами ледникового рельефа, а также моренно-подпрудными и ледниково-просадочными котловинами. Их характеризуют простая, зачастую округлая или овальная форма котловин и относительно малые глубины.

Донные отложения, заполняющие озёрные котловины, также отличаются многообразием характеристик, однако имеют следующее генерализованное строение (Демидов, 2005; Hang et al., 2019; Палеолимнология..., 2022 и др.). На позднеплейстоценовых ледниково-озерных отложениях (ленточные глины) мощностью от 1 до 3—4 и более метров залегают алевроиты (до 3 м), которые перекрываются толщей озёрных органо-минеральных и органических илов, иногда диатомитов, сформированных в голоцене. Мощность озёрных отложений может достигать 3—4 м, в редких случаях более 5 м. Таким образом, общая мощность ледниково-озерных и озерных отложений может достигать 10 метров и более.

Материалы и методы

Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН и Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена в рамках проектов РФФИ и тем госзадания с 2014 г. проводятся комплексные палеолимнологические исследования, включая геоморфологические обследования ряда озёр Заонежья, котловины которых в прошлом заливались водами Онежского приледникового озера (Палеолимнология..., 2022). Основной задачей этих исследований является реконструкция формирования и эволюции Онежского озера и прилегающих территорий со времени их последней дегляциации (14 500—12 500 л. н.). Изучение осадков малых водоемов, расположенных вблизи Онежского озера, дает большой фактический материал для реконструкций развития Онежского приледникового озера в позднем неоплейстоцене — голоцене (Zobkov et al., 2019; Палеолимнология..., 2022). В течение пяти полевых сезонов (2021—2025 гг.) нами были выполнены морфологические исследования 10 водоёмов,

расположенных в различных частях Заонежского полуострова (рис. 2).

Геоморфологические работы включали обследование береговых зон озёр и их батиметрическую съёмку. Глубины фиксировались при помощи эхолота GARMIN echoMAP 50s с частотой излучателя 200 кГц и разрешающей способностью 0.1 м. Морфометрические характеристики, такие как координаты центра озера (ϕ и λ), высота уреза воды (Z), площадь водной поверхности (A), длина береговой линии (L_s), наибольшая длина (L_m), средняя (Ba) и наибольшая ширина (Bm), определялись по топокартам и космоснимкам. Объем воды (V), средняя (H_a) и максимальная глубина (H_m), а также показатели удлинённости (K_l), развития береговой линии (K_s), формы озёрной чаши (K_h) рассчитывались в соответствии с принятыми методическими указаниями (Догановский и др., 2017; Свод..., 2023 и др.).

Морфометрические характеристики и показатели позволяют оценить принадлежность озёр к определенному классу. В настоящее время существует большое количество разнообразных морфометрических классификаций (Китаев, 1984). Например, при классификации озёр по площади зеркала (A) популярность получила работа П. В. Иванова (1948), в которой представлено семь градаций водоемов, расположенных в геометрической прогрессии: от озерков размером менее 0.1 км² до великих озёр размером более 10 000 км². По значению показателя удлинённости (K_l) озера подразделяются на пять групп (Григорьев, 1959): до 3 — округлые, 3—5 — овалы, 5—7 — овалы-удлинённые, 7—10 — удлинённые, более 10 — вытянутые. По величине показателя формы (K_h) озерная котловина соотносится с цилиндром (1.0), полуэллипсоидом (0.67), параболоидом (0.50) или конусом (0.33) (Верещагин, 1930) и др.

Результаты

Изученные озёра расположены в различных частях Заонежья и образуют три группы (рис. 2). Первая группа находится на северо-западе района и включает Лавкозеро, Гангозеро (Уница), Палозеро и Великое (рис. 2, а), а также примыкающее к ним оз. Гангозеро (Диановы Горы). Вторая группа расположена в центре и включает Ниж. Мижозеро и Тютюзеро (рис. 2, б), а также оз. Иленгуба. Третья группа находится на юго-востоке и включает Полевское и Керацкое озёра (рис. 2, в). Все исследованные водоёмы относятся к озёркам, малым и очень малым озерам (Иванов, 1948), отличаются разнообразием морфометрических характеристик и показателей (табл. 1).

Водоёмы первой группы находятся на крайнем северо-западе Заонежья вблизи вершины Уницкой губы Онежского озера (рис. 2). Озёра расположены в пределах

развития денудационно-тектонического грядового рельефа на абсолютных отметках уреза воды от 59.9 до 83.5 м, занимая межгрядовые (межсельговые) понижения. Для них характерна овально-удлиненная или овально-серповидная форма с ориентацией, близкой к субмеридиональной или субширотной, а также слаборасчлененная береговая линия (K_s от 1.31 до 1.72).

Гангозеро (Диановы Горы) находится на абсолютной отметке 81.0 м, характеризуется овально-серповидной удлиненной формой (рис. 3), вытянутой в субмеридиональном направлении ($K_l = 4.4$). Озёрная котловина хорошо выражена, конусообразной формы ($K_h = 0.31$), занимает межгрядовое понижение, глубины достигают 13.3 м (табл. 1). Западный и восточный берега высокие (восточный — каменистый, сбросового типа), северный и южный — низкие (северный берег заболочен). Озеро отличается отсутствием видимого поверхностного стока.

Лавкозеро расположено на абсолютной отметке 59.9 м, его характеризует овально-удлиненная форма ($K_l = 6.8$), вытянутая с севера на юг (рис. 2, а). Котловина озера расположена в межсельговом понижении, её форма близка к конусу ($K_h = 0.42$); максимальные глубины достигают 6.9 м (табл. 1). Берега озера высокие, восточный берег каменистый, северный преимущественно низкий и заболоченный, со сплавинами. Озеро соединяется ручьем без названия с р. Листига, впадающей в Уницкую губу Онежского озера.

Гангозеро (Уница) находится на абсолютной отметке 76.0 м, характеризуется овально-лопастной удлиненной формой ($K_l = 5.4$), вытянутой в направлении, близком к субмеридиональному (рис. 2, а). Озерная котловина занимает межгрядовое понижение, достаточно выражена, форма близка к конусообразной ($K_h = 0.39$); глубины достигают 8.8 м (табл. 1). Берега преимущественно высокие, каменистые, восточный берег со следами сейсмодислокаций (сбросовый тип), северо-западный — низкий, заболоченный. Озеро соединяется ручьем без названия с р. Листига, впадающей в Уницкую губу.

Палозеро расположено на абсолютной отметке 83.5 м, для него характерна овально-лопастная форма субширотного простирания. Котловина озера выражена, её форма близка к конусу ($K_h = 0.39$); максимальные глубины достигают 9.0 м (табл. 1). Южный берег озера высокий и каменистый, северный — более пологий; западный и восточный — низкие, заболоченные. Озеро бессточное (без видимого поверхностного стока).

Великое озеро находится на абсолютной отметке 82.4 м, характеризуется овально-серповидной формой субширотного простирания. Озёрная котловина занимает межгрядовое понижение, достаточно выражена, форма близка к конусообразной ($K_h = 0.40$); глубины достигают 16.4 м (табл. 1). Северный берег

пологий, южный — высокий, сбросового типа; западный и юго-восточный берега низкие, заболоченные. Озеро отличается отсутствием видимого поверхностного стока.

Озёра второй группы расположены в центральной части Заонежского полуострова на восточном побережье Уницкой губы (рис. 2, b). *Ниж. Мижозеро* и *Тютюзеро* находятся на абсолютных высотах 37.2 м и 38.0 м в районы занимают межсельговые понижения. Водоёмы вытянуты в виде борозды (K_f 22.9 и 14.3 соответственно) в северо-северо-западном направлении (рис. 4). Берега высокие, каменистые, сбросового типа (рис. 4, b, c). Озерные котловины полуэллипсоидной формы ($K_h \sim 0.60$), глубины достигают 9.3 и 9.5 м (табл. 1). Из оз. Тютюзеро вытекает ручей в оз. Ниж. Мижозеро, которое соединяется с Уницкой губой протокой и искусственным каналом.

К озёрам второй группы относится и оз. *Иленгуба*, которое расположено в 15 км севернее (рис. 2), на абсолютной отметке 33.1 м. Оно находится в пределах развития озерно-ледниковой равнины и отделено от Онежского озера озовой грядой и флювиогляциальной дельтой (Демидов, 2005). Озеро характеризуется овально-лопастной удлинённой формой ($K_f = 7.3$) северо-западного простираения. Котловина не выражена, максимальные глубины не превышают 2.0 м (табл. 1); берега низкие, заболоченные, поросшие высшей водной растительностью. Из озера в южной части вытекает ручей без названия длиной около 400 м, соединяющий его с Уницкой губой.

Озёра *Керацкое* и *Полевское*, составляющие третью группу, расположены на юго-востоке Заонежского полуострова на абсолютных отметках 54.5 и 54.7 м. Они находятся в пределах развития слабоволнистой аккумулятивной озерно-ледниковой равнины, образованной лимногляциальными отложениями (пески, глины) (Государственная..., 2022). Оз. Керацкое характеризует округло-лопастная форма ($K_f = 2.0$, $K_s = 1.24$), оз. Полевское отличается овально-лопастной формой ($K_f = 3.5$, $K_s = 1.31$), вытянутая в субмеридиональном направлении. Склоны котловин практически не выражены, берега низкие и заболоченные, заросшие высшей водной растительностью; максимальные глубины достигают 1.5 и 3.9 м соответственно (табл. 1). Водоёмы составляют единую озёрно-речную систему и соединены протокой без названия длиной около 500 м (рис. 5). В оз. Полевское впадают р. Лимозерка и Ближняя, в оз. Керацкое — протока и ручей без названия, вытекает р. Путкозерка, соединяющая его с оз. Путкозеро.

Обсуждение результатов

Изученные малые озёра Заонежья отличаются разнообразием морфометрических характеристик и показателей, что в значительной степени объясняется различием условий формирования их котловин и морфолитогенеза.

Как было отмечено выше, на северо-западе района, где преобладает денудационно-тектонический рельеф, получили распространение озёра тектонического заложения, преобразованные ледниковой экзарацией (котловины экзарационно-тектонического генезиса) (табл. 2). К таковым относятся водоёмы первой группы (Лавкозеро, Гангозеро (Уница), Палозеро и Великое), Ниж. Мижозеро и Тютюзеро (рис. 2), а также ряд малых озер, исследованных ранее (Потахин, 2017). На юго-востоке Заонежья, где представлен аккумулятивный тип рельефа, распространены озёрные котловины ледникового генезиса (табл. 2). К ним относятся озёра третьей группы (Полевское и Керацкое), Иленгуба (рис. 2), а также ранее изученное Леликозеро (Потахин, 2017).

Следует отметить, что котловины озёр, находящихся на относительно невысоких абсолютных отметках (31.1—61.0 м) (табл. 2), в значительной степени заполнены ледниково-озерными и озерными отложениями Онежского приледникового и Онежского озер. Они имеют черты реликтовых (остаточных) водоемов: меньшие глубины в сравнении с озерами экзарационно-тектонического и ледникового генезиса, меньшее соотношение средней и максимальной глубин (форма котловин близка к параболоиду или полуэллипсоиду). Так, например, в озёрах Полевское и Керацкое, относящихся к ледниковым реликтовым водоёмам, мощность ледниково-озёрных осадков (в том числе ленточных глин) достигает 7 м, а общая толща отложений составляет около 14 м (Hang et al., 2019; Ryazantsev et al., 2021). Мощность донных отложений в экзарационно-тектонических водоёмах, находящихся на более высоких отметках — от 76.0 м и выше — например, в озёрах Палозеро, Гангозеро (Уница), Гангозеро (Диановы Горы) и др., не превышает 3—4 м (Палеолимнология..., 2022).

Заключение

В статье представлены результаты морфологических исследований малых озёр, расположенных в различных частях Заонежья. В ходе полевых работ проведено обследование берегов и батиметрическое картирование дна десяти водоёмов. Впервые благодаря полученным данным были рассчитаны объёмы водных масс изученных озёр, определены характерные глубины и другие морфометрические характеристики и показатели. Установлено, что пространственная неоднородность озерных котловин определяется гетерогенностью морфолитодинамических условий (геологическое строение, тектоника, рельеф), а изменение их в течение позднеледниковья и голоцена связано со сменой климатических условий (колебания климата, деградация покровного оледенения, образование и развитие Онежского приледникового озера и т. д.).

