

ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 556.55
doi: 10.17223/25421379/34/10

ОЗЕРНЫЙ ФОНД ЕВРОПЫ

Анна Владиленовна Измайлова¹, Наталья Юрьевна Корнеевкова²

¹ Государственный гидрологический Институт, Санкт-Петербург, Россия
² Институт озераведения Российской академии наук – Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия
¹ ianna64@mail.ru
² ntkorn87@gmail.com



Аннотация. Представлены результаты количественной оценки озёрного фонда Европы. С использованием глобальных массивов данных выполнена визуализация озёрности, а также изменения площадей водной поверхности регионов Европы. Для оценки запасов озёрных вод использованы региональные зависимости между морфометрическими характеристиками озёрных котловин, а также зависимости между объёмами воды в озере и его площадью.

Ключевые слова: озёрные ресурсы, озёрные регионы Европы, площадь водной поверхности, водные ресурсы, ГИС-технологии

Источник финансирования: работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме № FMNG-2019-0004 «Закономерности распределения озёр по территории Евразии и оценка их водных ресурсов».

Для цитирования: Измайлова А.В., Корнеевкова Н.Ю. Озёрный фонд Европы // Геосферные исследования. 2025. № 1. С. 136–151. doi: 10.17223/25421379/34/10

Original article
doi: 10.17223/25421379/34/10

EUROPEAN LAKE RESOURCES

Anna V. Izmailova¹, Natalya Yu. Korneenkova²

¹ State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russian Federation
² Institute of Limnology RAS - a separate structural subdivision of "St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences", St. Petersburg, Russian Federation
¹ ianna64@mail.ru
² ntkorn87@gmail.com

Abstract. The results of a quantitative assessment of the European lake resources carried out according to an original method are presented. To determine the number and areas of water bodies, the automated and visual-instrumental interpretation capabilities were applied with the use of the Water Mask array based on the adjustment of the long-term data (from 2000 to 2012), as well as on the images provided by the program Google Earth. Maps of the lake area percentage were constructed based on the obtained data set of the water surface areas. The highest lake coverage values are characteristic of the territory covered by the last Quaternary glaciation. For regions located outside the Quaternary glaciation, the average lake area ratio is significantly increased in relation to the natural lake area due to the inclusion of the water surface areas of artificial reservoirs in the calculation. It has increased most in areas originally characterized by a very low lake stock. Based on the Global Surface Water Transitions dataset, a visualisation of changes in the water surface areas of European regions from the 1980s to the present was made. The schematic maps of changes in water surface density over the past four decades confirm the conclusions drawn in the article about changes in the lake stock in Europe due to the construction of reservoirs, as well as reflecting changes in the area not caused to the construction of artificial reservoirs. To assess the lake water resources of whole of Europe, as well as its parts distinguished according to the physical-geographical principle, the reference data and regional relationships between various morphometric characteristics of lakes that take into account their genesis and orographic features of the territory were used. Moreover, the relationships between the volume of water in the lake and its area were taken into account. According to the assessment, the water surface area of all water bodies in Europe is 284,000 km², of which about 3/4 are natural ones. The lakes contain a total of 3285 km³ of fresh water and 88 km³ of water of increased mineralization. The main volume of waters in Europe is concentrated in the lakes of the zone of the last Quaternary glaciation distribution (85 %) and in the lakes of the Alpine zone (10%); about 2,5 % of water is concentrated in the lakes

of the Balkan Peninsula. Water reserves in artificial water bodies of Europe are about 500 km³, about half of this value is accounted for by the largest reservoirs of the European part of Russia.

Keywords: lake resources, lake regions of Europe, water surface area, water resources, geoinformation technologies

Source of financing: The work was carried out within the framework of the state assignment on theme No. FMNG-2019-0004 "Regularities of the distribution of lakes over the territory of Eurasia and the assessment of their water resources".

For citation: Izmailova A.V., Korneenkova N.Yu. (2025) European Lake Resources. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 1. pp. 136–151. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/34/10

Введение

В современном мире оценка запасов пресной воды представляет интерес при планировании практически всех видов хозяйственной деятельности. Наряду с речным стоком, относящимся к быстро возобновляемым водным ресурсам [World..., 2003], значительный интерес представляют и озёрные воды, причисляемые к водным ресурсам замедленного возобновления. Со второй половины XX в. в научной литературе большое внимание уделялось вопросам оценки водных ресурсов (как быстрого, так и замедленного возобновления) не только на национальном, но и на планетарном уровне [Nace, 1967; Львович, 1974; Kozun, 1978; Baumgartner, Reichel, 1975; Berner, Berner, 1996; World..., 2003]. Вместе с тем, необходимо отметить существенные расхождения в публикуемых результатах, связанные с применением различных методов расчёта и использованием различающихся между собой данных, доступных для разных авторов. Наряду с базирующимися на аналитических методах оценками запасов вод в планетарном масштабе, в том числе вод, сосредоточенных в озерах [Лосев, 1989; Львович, 1974; Meybeck, 1995; Nace, 1969; Tamrazyan, 1974; Ryzanhin, 2006; Wetzal, 1983], проводились и попытки исчисления количества озёр, которые, с развитием GIS-технологий, стали опираться на возможности обработки спутниковой информации, в том числе автоматизированной [Downing et al., 2006; Lehner, 2004; McDonald et al., 2012; Fahrenkamp-Uppenbrink, 2014; Verpoorter et al., 2014]. Однако получаемые результаты также отличаются в зависимости от принципов, положенных в основу их оценки, при этом различия сохраняются на любом уровне – региональном, национальном, планетарном. Так, по опубликованным данным по суммарным запасам озёрных вод мира, максимальная оценка (280 км³ [Лосев, 1989]) в 1,7 раза превышает минимальную (166 км³ [Tamrazyan, 1974]). Таким образом, необходимо признать, что, во-первых, окончательного ответа на фундаментальный вопрос «сколько на Земле озёр и сколько в них воды?» до настоящего времени не получено. Во-вторых, для глобальных географических обобщений, проводимых по озёрному фонду или водным ресурсам, необходимо все расчёты проводить на основе единой методики. В этом случае, даже при наличии ошибок в

оценках, получаемые результаты становятся сопоставимыми между собой.

В последние десятилетия в ИНОЗ РАН-СПб ФИЦ РАН была выполнена задача на основе единой методики оценить озёрный фонд крупнейшей страны мира – Российской Федерации, характеризующейся чрезвычайным разнообразием физико-географических условий и достаточно низким уровнем лимнологической изученности большей части территории [Izmailova, 2016a; Izmailova, Korneenkova, 2020]. В результате проведённой работы были получены хорошо сопоставимые между собой данные о количестве водоёмов, площадях их водной поверхности, суммарных объёмах озёрных вод в различных частях страны. Отработанные методические подходы позволили её авторам расширить оценку озёрного фонда до масштаба континента.

Целью нашей статьи является представление данных по распределению озёр по территории Европы и получение сопоставимых между собой результатов оценки озёрного фонда (количество водоёмов, площади водной поверхности, объёмы вод) по различным регионам данной части света.

Необходимо подчеркнуть, что на настоящий момент количественные характеристики суммарных запасов озёрных вод всего континента отсутствуют, а оценки, проведённые по ряду стран, чаще всего плохо сопоставимы между собой из-за включения в расчёт водоёмов различной крупности (небольшие государства обычно учитывают даже самые малые водоёмы, тогда как для крупных стран, в том числе для России, такой учёт трудноосуществим и фактически лишён смысла) и генезиса (могут как учитываться, так и не учитываться прибрежные или искусственные водоёмы).

В этой связи следует уточнить, что, хотя полученные авторами результаты оценки озёрного фонда оказываются заведомо ниже ряда национальных оценок (малые водоёмы могут быть недоучтены), однако, будучи получены на основе единого подхода, они являются хорошо сопоставимыми между собой, что позволяет получить корректные выводы об особенностях распределения озёр по территории континента и выявить связи между показателями озёрности, суммарными величинами водных ресурсов и определяющими их факторами.

Материалы и методы оценки

Оценка количества водоёмов и площадей водной поверхности различных территориальных образований Европы выполнялась на основе специально разработанной методики [Izmailova, 2016б] и базировалась как на визуально-инструментальном дешифрировании водных объектов на современных спутниковых снимках, предоставляемых программой «Google Планета Земля», так и на автоматизированном дешифрировании с использованием набора данных Global Forest Change (GFC), описанного М.С. Hansen и др. [Hansen et al., 2013].

Набор данных GFC основан на обработке изображений Landsat за период с 2000 по 2021 г. и доступен в каталоге Google Earth Engine [Google Earth Engine]. Массив GFC представляет собой наборы тайлов размером $10 \times 10^\circ$, имеющие пространственное разрешение 1 угловая секунда на пиксель, или примерно 30 метров на пиксель на экваторе. В работе использовались растры, полученные из массива GFC, характеризующие устойчивые водные поверхности. Каждый пиксель растра имеет значение 0 (области без данных), 1 (поверхность земли) или 2 (постоянные водоёмы, т.е. водная поверхность идентифицируется в 50 % от времени наблюдений за период вегетации).

Обработка исходных данных и расчеты площадей производились в среде ПО ГИС SAGA и QGIS, визуализация выполнялась в ГИС QGIS.

Оценка площади зеркала озёр с использованием программы «Google Планета Земля», а также набора данных GFC полностью учитывала все водные объекты Европы, площади которых превышали 1 км^2 . На большей части Европы водоёмы крупнее 1 км^2 определялись визуально и их площадь рассчитывалась с использованием встроенного инструментария программы «Google Планета Земля». Для территории Фенноскандии, в связи с ее высокой озёрностью, была использована автоматическая обработка массива GFC, в ходе которой осуществлялась конвертация растровых данных в векторный формат, перепроецирование векторных слоев в прямоугольную систему координат, а также идентификация водоёмов крупнее 1 км^2 . Производилось исправление поврежденной или неправильной геометрии полигонов и уточнение площадей.

Расчет количества и площадей водоёмов с площадью водного зеркала менее 1 км^2 осуществлялся с использованием методики «выборочных квадратов». В ходе расчета в среде ГИС производилось построение сетки квадратов, равномерно покрывающих всю территорию исследования и расположенных в шахматном порядке. В ходе автоматизированной обработки выполнялась обрезка исходных растровых

изображений GFC по маске сетки квадратов. В результате обрезки растров был получен массив растровых фрагментов, площадь каждого из которых для зарубежной Европы составляла 400 км^2 , для территории РФ – от 100 до 400 км^2 . В среде ГИС производились векторизация растровых данных, перепроецирование векторных слоев в прямоугольную систему координат. Выполнялись ручная идентификация и удаление рек, дубликатов и перекрывающихся полигонов, разделение сегментированных полигонов на отдельные озерные образования, а в случае необходимости – исправление контуров полигонов. В связи с тем что на первом этапе уже были идентифицированы все озера крупнее 1 км^2 , попадающие в квадраты водоёмы более 1 км^2 или их фрагменты исключались из расчетов на данном этапе, но учитывались при дальнейшем построении карты озёрности. Характеристики водоёмов с площадью водного зеркала менее 1 км^2 , полученные при оценке площади водной поверхности в «выборочных квадратах», принимались в качестве репрезентативных аналогов и переносились на остальную часть исследуемой территории.

Выделялись как естественные водоёмы (озера, лиманы, лагуны), так и искусственные. Для вычленения из общего перечня искусственных водоёмов, а также для привязки озёр к определённому виду ландшафта (для получения более корректных зависимостей между различными морфометрическими характеристиками озёр с целью дальнейшего вычисления суммарных объёмов воды) использовались возможности визуально-инструментального дешифрирования.

На этапе работы со снимками было определено количество водоёмов и суммарные площади водной поверхности по различным территориальным образованиям (озёрным регионам) Европы. Полученный с применением набора данных М.С. Hansen [Hansen и др., 2013] массив точечных характеристик густоты водного покрытия был использован для построения карты озёрности. Массив содержит более 4 000 значений коэффициентов озёрности, равномерно покрывающих всю территорию континента. Разграничение озёрных районов на карте осуществлялось с учётом данных космических снимков, в отдельных случаях – информации с геоморфологических карт.

Наряду с картой озёрности, содержащей информацию о современных площадях водной поверхности различных частей Европы, были построены карты-схемы изменения густоты водной поверхности в Европе за последние четыре десятилетия. С этой целью, на основе глобального набора данных Global Surface Water Transitions (GSW Transitions) [Pekel и др., 2016], была выполнена визуализация изменения площадей водной поверхности регионов Европы в период с 1980-х гг. по настоящее время.

Массив данных GSW Transitions, распространяющийся в виде наборов тайлов размером $10 \times 10^\circ$, содержит сведения об изменениях присутствия воды за период с 1984 по 2021 г. Тайлы представляют собой индексированные изображения, где водная поверхность классифицирована на новые сезонные (класс «new seasonal»), новые постоянные (класс «new permanent»), исчезнувшие сезонные и исчезнувшие постоянные (класс «lost seasonal», класс «lost permanent») водные поверхности, а также 6 переходных категорий. Данные доступны для территорий южнее 80° с.ш. и севернее 60° ю.ш. В исследовании рассмотрены водные поверхности, классифицированные как «new permanent» и «lost permanent».

Визуализация изменения водных поверхностей, основанная на данных GSW Transitions, предполагала построение сплошной сетки ячеек площадью 900 км^2 , покрывающей всю территорию исследований южнее 80° с.ш. В связи с отсутствием данных, в исследовании не рассматривалась территория архипелага Шпицберген. В ходе автоматизированной обработки выполнялось преобразование исходных тайлов в бинарные растры, где пикселям класса «new permanent» или «lost permanent» соответствовало значение 1, остальным пикселям – 0. Методом зональной статистики производился подсчет в каждой ячейке сетки общего числа пикселей, а также пикселей со значением 1. На основе полученных данных в каждой ячейке была рассчитана густота водных поверхностей (в %), относящихся к классу «new permanent» или «lost permanent». Необходимо отметить, что данные массива GSW Transitions учитывают все водные поверхности, в том числе речную сеть, океанические и морские бассейны.

Для оценки объёмных характеристик озёрного фонда были использованы материалы собранных в ИНОЗ РАН-СПб ФИЦ РАН баз данных (БД) по морфометрическим характеристикам водных объектов (WorldLake и Lakes of the World) [Кочков, Рянжин; Румянцев и др., 2009], собираемым на протяжении нескольких десятков лет на основе мониторинга литературных и справочных источников, а также построенные региональные зависимости между различными характеристиками озёрных котловин. Для определения суммарных объёмов вод какой-либо территории проводилось последовательное суммирование объёмов морфометрически изученных водоёмов (сведения о которых наличествуют в БД) со слабоили неизученными. Для последних объёмы воды определялись на основе региональных зависимостей.

Как уже указывалось, методические подходы изначально были отработаны для Российской территории и описаны в [Izmailova, 2016b; Izmailova, 2020].

Для регионов, характеризующихся достаточно высокой морфометрической изученностью водоёмов (слабо изученными остаются преимущественно малые озёра), было признано оправданным применение зависимости между объёмами воды в озере и его площадью ($V \sim \alpha * S^{\beta}$), разработанной в ИНОЗ РАН С.В. Рянжиным и Н.В. Кочковым [Kochkov, Ryzhzhin, 2016]. Вид такой зависимости, основанной на данных о морфометрически изученных водоёмах Европы, показан на рис. 1. На рис. 1, а приведена общая зависимость, построенная по всем европейским озёрам, входившим в базу данных WORLDLAKE [Кочков, Рянжин, «Озера...»], показывающая высокий коэффициент корреляции между выбранными характеристиками. Применительно к отдельным регионам зависимость может видоизменяться (рис. 1, b-1, d), и её вид, прежде всего, будет детерминирован происхождением котловин, которое в значительной мере определяет их форму. В случае невысокой морфометрической изученности озёр использование зависимости объём – площадь может приводить к значительным ошибкам при определении суммарных запасов воды в районах, где несколько слабоизученных водоёмов концентрируют основной запас воды. Поэтому при оценке водных ресурсов таких регионов (прежде всего для российской территории) особое внимание уделялось возможности определения средних глубин водоёмов на основе региональных зависимостей между различными морфометрическими характеристиками озёрных котловин, учитывающих орографические особенности территории и генезис котловин.

Оценка количества водоёмов, суммарных площадей водной поверхности и объёмов вод проводилась по регионам Европы, выделенным на основе генетического принципа, позволяющего не только учесть сложное сочетание зональных и азонных факторов внутри региона, но и установить временную точку отсчёта эволюции озёр при энергетическом потенциале тех широт, в пределах которых он предполагается [Izmailova, 2016b; Izmailova, 2020]. Было определено, что внутри региона могут наблюдаться определённые различия по ряду компонентов природной среды, однако по основным компонентам, таким как геология и климат, должна наблюдаться общность. В результате регионализации на территории Европы было выделено 22 основных озёрных региона.

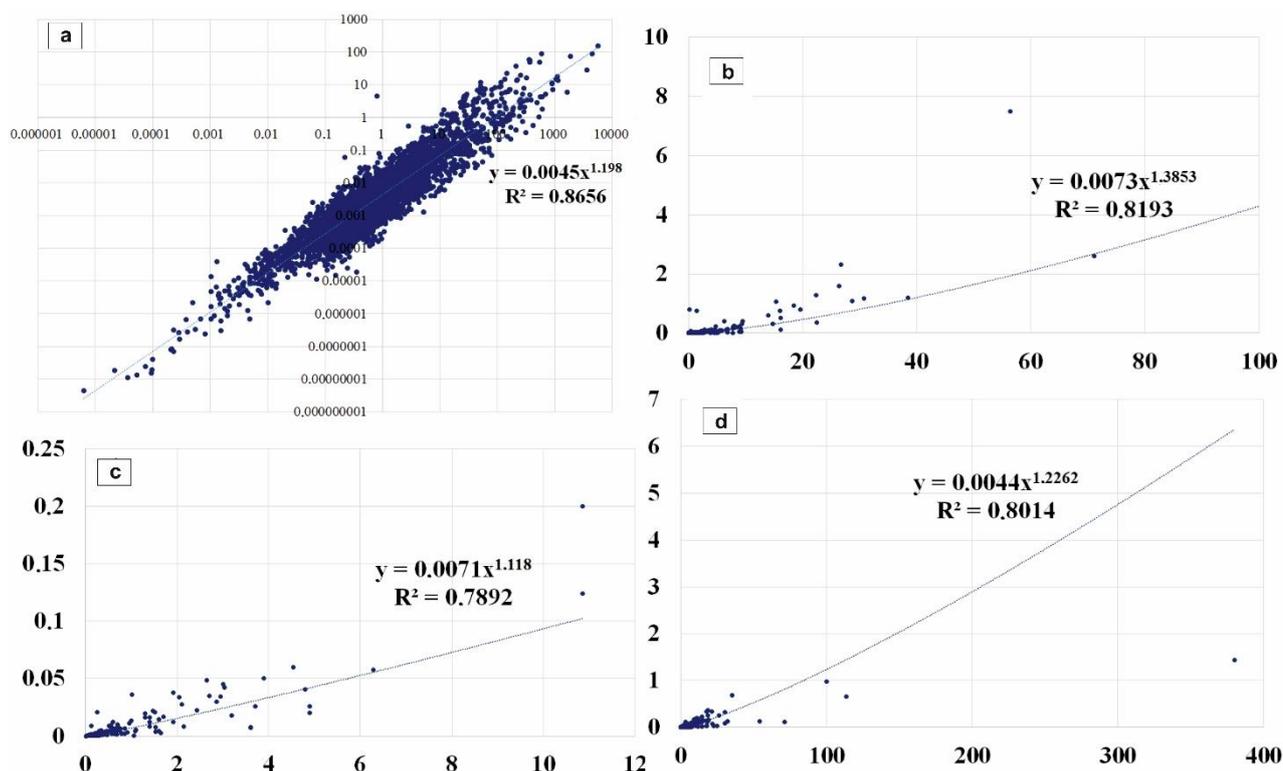


Рис. 1. Зависимость площадь–объем

a – общая для озёр Европы; b – для озёр Британских островов, зона распространения оледенения; c – для озёр Британских островов, привязанных к речной сети; d – для озёр Польской низменности, зона распространения оледенения

Fig. 1. Area-volume dependence for all European lakes included in the WORLDBAKE database

a – common for lakes in Europe; b – for lakes of the British Isles, glaciation spread zone; c – for lakes of the British Isles, tied to the river network; d – for lakes of the Polish Lowland, glaciation spread zone

Данные по озёрному фонду по регионам России были ранее опубликованы в [Izmailova, 2016a; Izmailova, 2020]. На её территории были выделены 11 регионов:

- 1) Кольский сегмент Балтийского кристаллического щита, зона распространения последнего материкового четвертичного оледенения;
- 2) Карельский сегмент Балтийского кристаллического щита, зона распространения последнего материкового четвертичного оледенения;
- 3) северо-запад Русской плиты, зона распространения последнего материкового четвертичного оледенения;
- 4) прибрежные равнины Карского моря, зона распространения многолетней мерзлоты;
- 5) северо-восток Русской плиты, регион нахождения древних ледниковых покровов;
- 6) центр Русской плиты, территории значительного распространения ледниковых форм рельефа, оставшихся в наследие московского оледенения;
- 7) центр Русской плиты, территории деградации ледниковых форм рельефа, оставшихся в наследие днепровского оледенения;

8) средняя часть Волжского бассейна за пределами распространения ледниковых форм рельефа;

9) юг Русской плиты, зона неустойчивого и недостаточного увлажнения;

10) Уральская горная страна (западный склон);

11) Северный Кавказ и Крымские горы;

За пределами России выделено также 11 основных регионов, данные по которым представлены в табл. 1. Наряду с названием региона в ней приведены коэффициенты уравнения ($V \sim \alpha \cdot S^\beta$), и коэффициенты аппроксимации, рассчитанные с учётом информации по морфометрическим характеристикам озёр, собранной в БД ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН. Необходимо отметить, что в таблице приведены лишь коэффициенты общего для каждого региона уравнения (полученные с учётом всех морфометрически изученных водоёмов). При расчётах объёмов воды для большинства регионов строились дополнительные зависимости с учётом разделения водоёмов по генетическому признаку, а также, при необходимости, с учётом ландшафтной дифференциации. В частности, были отдельно вычленены водоёмы, привязанные к речной сети, и прибрежные водоёмы.

Озёрные регионы зарубежной Европы и параметры зависимости $V \sim \alpha * S^\beta$

Table 1

Lake regions of Europe (excluding Russia) and the parameters of the dependence $V \sim \alpha * S^\beta$

№ р-на	Регион	α	β	R^2
	<i>Вся Европа</i>	0,0045	1,2	0,866
12	Исландия, регион активного вулканизма	0,0035	1,33	0,714
13	Британские острова, зона распространения последнего четвертичного оледенения	0,006	1,34	0,866
14	Фенноскандия, центр последнего материкового четвертичного оледенения Европы	0,0056	1,18	0,919
15	Среднеевропейская и западная части Восточно-Европейской равнины, зона распространения последнего материкового четвертичного оледенения (вислинского)	0,0039	1,17	0,8
16	Низменные равнины побережья Северного моря и Атлантического океана, находившиеся за пределами распространения последнего оледенения, Северо-Французская низменность и предальпийский регион	0,0064	1,15	0,827
17	Альпийский регион	0,0191	1,26	0,947
18	Средне- и Нижнедунайская равнины и Карпатский регион	0,0018	1,0	0,935
19	Юго-западная часть Восточно-Европейской равнины	0,0029	0,9	0,945
20	Балканский полуостров и острова Эгейского и Ионического морей	0,0051	1,13	0,796
21	Паданская низменность, Апеннинский полуостров и острова Тиренского и Средиземного морей	0,01	1,33	0,959
22	Пиренейский полуостров	0,0051	1,07	0,9

При оценке водных ресурсов озёр России [Измайлова, 2016а] нами было отмечено, что доля малых водоёмов, характеризующихся низкой морфометрической изученностью, в общей величине суммарного объёма воды обычно мала, за исключением равнинных регионов с высоким коэффициентом озёрности и практическим отсутствием крупных озёр, как, например, на северо-востоке европейской части России (ЕЧР). Как результат – основную ошибку в суммарной величине водных ресурсов озёр какой-либо территории чаще всего вносят неточности при определении объёмов воды крупнейших водоёмов.

Результаты оценки озерного фонда

Распределение естественных и искусственных водоёмов по территории Европы. Согласно проведённой оценке, в пределах Европы на снимках дешифрируется около 1 320 000 водоёмов естественного происхождения и около 430 000 искусственного, в том числе за пределами России, соответственно 710 000 и 340 000. Площадь водной поверхности всех водоёмов Европы составляет 284 000 км², из которых около 3/4 приходится на водоёмы естественного происхождения. Средняя озёрность (отношение суммарной водной поверхности естественных и искусственных водоёмов региона к его площади) составляет, таким образом, 2,8 %, в том числе естественная (за вычетом площадей искусственных водоёмов) – 2,3 %.

На рис. 2 представлена карта озёрности всей Европы. На карту нанесены границы основных озерных регионов, выделенных при расчетах озерного фонда. Для лучшей визуализации некоторые районы были укрупнены: границы регионов Фенноскандии и российской части Балтийского кристаллического щита объединены (регионы № 1, 2 из приведенного выше перечня и № 14 из табл. 1), так же как границы регионов распространения последнего материкового четвертичного оледенения за пределами Балтийского кристаллического щита (регионы № 3, 15) и границы регионов, соответствующих центру и югу Русской плиты (регионы № 6–9, 19).

При построении карты коэффициент озёрности был рассчитан с учётом площадей как естественных, так и искусственных водоёмов. Наиболее высокие значения озёрности характерны для территории, находившейся под покровом последнего четвертичного оледенения, причём границы распространения оледенения чётко очерчиваются на построенной карте. Также хорошо отслеживается и зависимость коэффициента озёрности от подстилающих пород: его резкое изменение происходит сразу за пределами Балтийского кристаллического щита при выходе на равнину, покрытую массивным слоем осадочных отложений. Осреднённое значение коэффициента озёрности для Свекофенского и Южно-Скандинавского сегментов Балтийского кристаллического щита превышает 8 %. С учётом местных особенностей рельефа

значения озёрности могут достигать 20 % и более. На европейской части России наибольшей озёрностью характеризуется Кольско-Карельский сегмент Балтийского кристаллического щита, где, с учётом площадей расположенных на данной территории крупнейших озёр Европы, среднее значение коэффициента озёрности составляет 13,6 %. Значения озёрности в материковой части континента (вне Балтийского щита), находившейся под покровом последнего оледенения, и на британских островах составляют соответственно 1,6 и 1,8 %. На северо-западе Восточно-Европейской (Русской) равнины они по большей части территории также составляют от 1 до 2 %. Однако при расчётах доли водной поверхности всего третьего озёрного региона, включающего части акваторий Ладожского и Онежского озёр (лежащих на стыке кристаллического щита и Русской плиты), значения среднего коэффициента озёрности оказывается около 7 %.

В Альпийском регионе средний коэффициент озёрности составляет 2,1 %, его наиболее высокие значения характерны для центральной части Альп, так, для территории Швейцарии – в среднем 3,2 %.

Для материковых регионов Европы, расположенных за пределами четвертичного оледенения, средний коэффициент озёрности составляет 1,2 %, будучи значительно увеличен по отношению к естественной озёрности за счёт включения в расчёт площадей водной поверхности искусственных водоёмов. При этом отслеживается его наибольший рост в районах, изначально характеризующихся крайне низким озёрным фондом. Так, для центра и юга Восточно-Европейской равнины, где коэффициенты естественной озёрности крайне низки, строительство крупных водохранилищ привело к увеличению площади водной поверхности в разы.

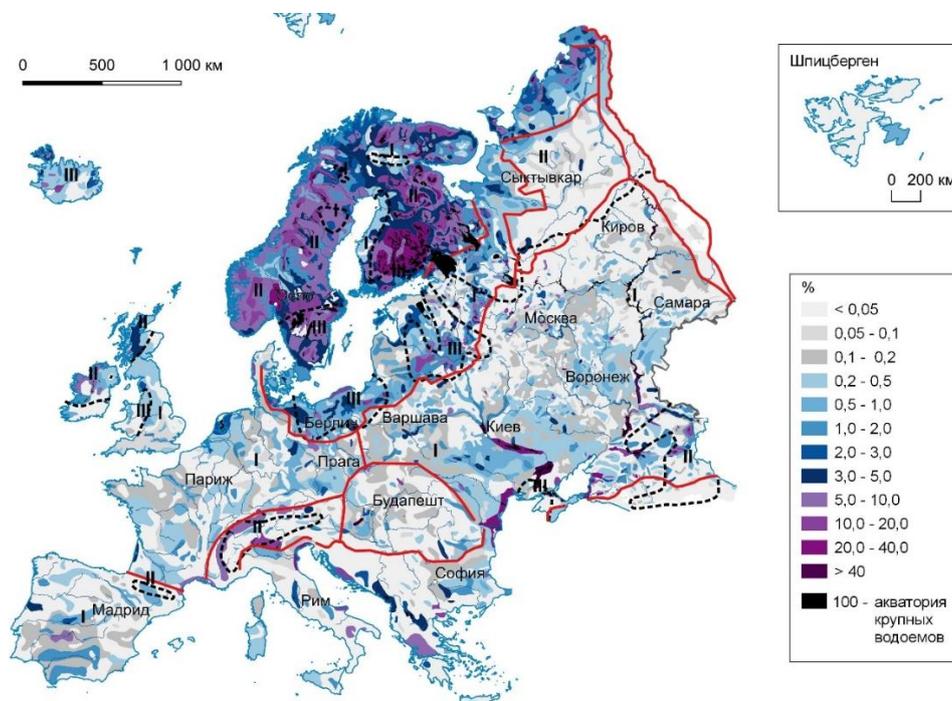


Рис. 2. Карта озёрности Европы

Красной линией отмечены границы озерных регионов. Пунктирной линией здесь и в рис. 3, 4: I – изменение площадей водных поверхностей за счет искусственно созданных после 1984 г. водоемов; II – изменение площадей водных поверхностей за счет появления или исчезновения естественных водоемов, а также изменения площадей водохранилищ, созданных до 1984 г.; III – изменение площадей как природных, так и искусственно созданных после 1984 г. водоемов

Fig. 2. Lake area percentage of Europe

The red line indicates the boundaries of lake regions. The dotted line here and in Fig. 3, 4: I – change of water surface areas mainly due to artificially created water bodies after 1984; II – change of water surface areas due to appearance or disappearance of natural reservoirs, as well as change of areas of reservoirs created before 1984; III – changes in the areas of both natural and artificially created water bodies after 1984

На представленной на рис. 2 карте озёрности крупнейшие водохранилища резко выделяются на фоне низкой озёрности окружающих районов. Самые низкие значения естественной озёрности наблюдаются в центре ЕЧР (0,17 %), для ряда субъектов феде-

рации Центрального и Приволжского ФО они составляют менее 0,01 % [Жорнеев, Измайлова, 2019]. Увеличение средней озёрности для ряда областей центра и юга ЕЧР за счёт строительства искусственных водоёмов составляет два порядка.

Однако столь значительное повышение коэффициента озёрности на рис. 2 не очевидно, и отслеживается лишь при сравнении данных по суммарным площадям водной поверхности до и после строительства водохранилищ. Среди стран зарубежной Европы значения естественной озёрности не превышают 0,1 % только в Чехии, Словакии, Испании, а также в малых государствах Европы. Наибольшее увеличение площадей водной поверхности за счёт строительства искусственных водоёмов прослеживается на Пиренейском полуострове, Средне- и Нижнедунайской равнинах и в юго-западной части Восточно-Европейской равнины. Для таких стран, как Чехия и Словакия, суммарной площадью водной поверхности за счёт искусственных водоёмов увеличилась более чем в 10 раз, в Сербии, Молдове, Испании и Болгарии – в 5–8 раз.

Для лучшей визуализации изменений озёрности, произошедших за последние десятилетия, наряду с картой-схемой озёрности, отражающей современное состояние водной поверхности Европы, на основе данных спутниковой съёмки, проводимой с начала

1980-х гг., были построены карты-схемы изменения густоты водной поверхности Европы (рис. 3, 4) за период с 1984 по 2021 г. Карты получены на основе автоматизированной обработки данных GSW Transitions. С использованием визуального анализа массива GSW Transitions, а также данных спутниковых снимков, на территории исследования были выделены три группы регионов в зависимости от преобладания природных или антропогенных процессов в динамике площадей водных поверхностей:

I. Изменение площадей водных поверхностей преимущественно за счет искусственно созданных после 1984 г. водоемов (I на рис. 2–4).

II. Изменение площадей водных поверхностей преимущественно за счет появления или исчезновения естественных водоемов, а также изменения площадей водохранилищ, созданных до 1984 г. (II на рис. 2–4).

III. Существенное изменение площадей как природных, так и искусственно созданных после 1984 г. водоемов (III на рис. 2–4).

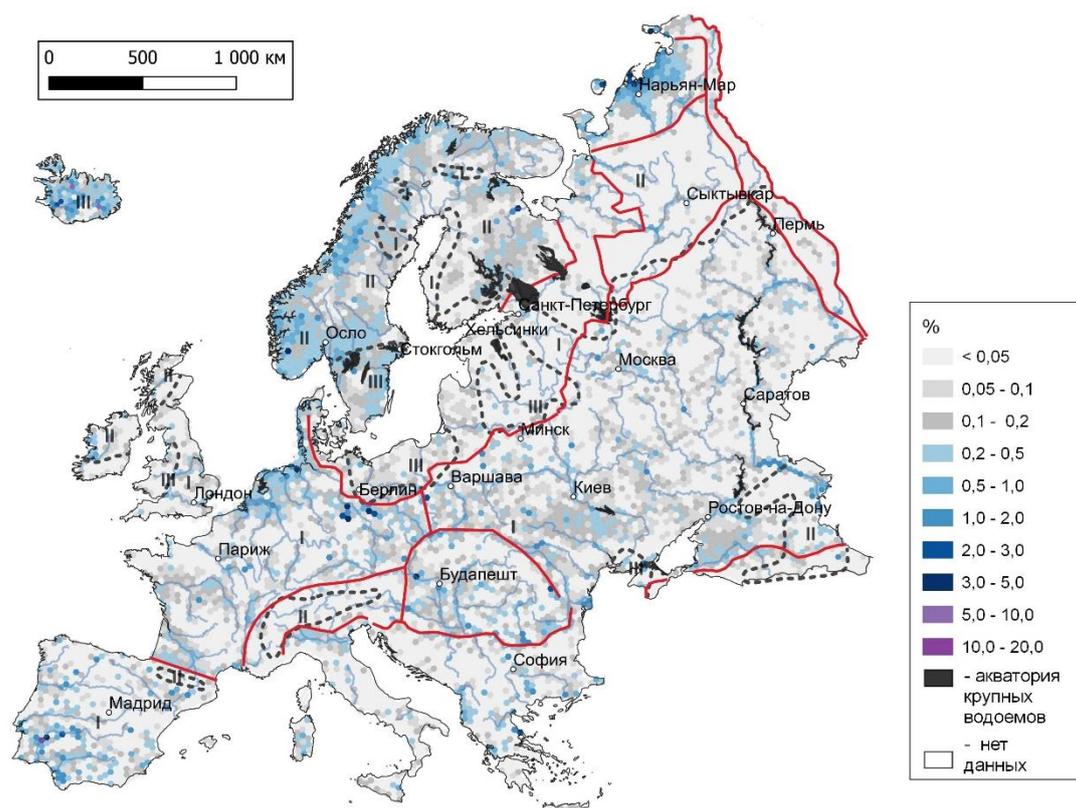


Рис. 3. Водные поверхности категории «new permanent» по данным GSW

Красной линией отмечены границы озерных регионов

Fig. 3. New permanent water surfaces according to GSW

The red line indicates the boundaries of lake regions

Поскольку спутниковые данные доступны за ограниченный период времени, представленные на рис. 3 сведения отражают изменения озерного фонда лишь

за последние 4 десятилетия и не дают информации о всех искусственных водоемах, строительство большинства из которых происходило задолго до начала

освоения космоса в научных целях. Однако построенная карта-схема во многом дополняет приведенную выше карту озёрности и подтверждает описанные выше выводы об изменении озерного фонда Европы в связи со строительством водохранилищ. Карта-схема, приведенная на рис. 3, отражает также увеличение количества и площадей водоемов в Скандинавских горах, которое, как показывает анализ данных, не является следствием возведения искусственных водоемов. Регионы распространения многолетнемерзлых пород, а также южные районы Скандинавского полуострова, исходя из анализа рис. 3 и 4, характеризуются как увеличением, так и

сокращением площадей водной поверхности. Предварительный визуальный анализ архива GSW позволяет предположить, что изменения густоты водного покрытия в данных регионах также не обусловлены строительством водохранилищ.

Переход водных поверхностей из категории «permanent» в категорию «lost permanent» или из категории «суша» в категорию «new permanent» в перечисленных регионах может быть обусловлен как природными причинами (многолетними изменениями водности), так и особенностями исходных данных и требует дополнительного изучения.

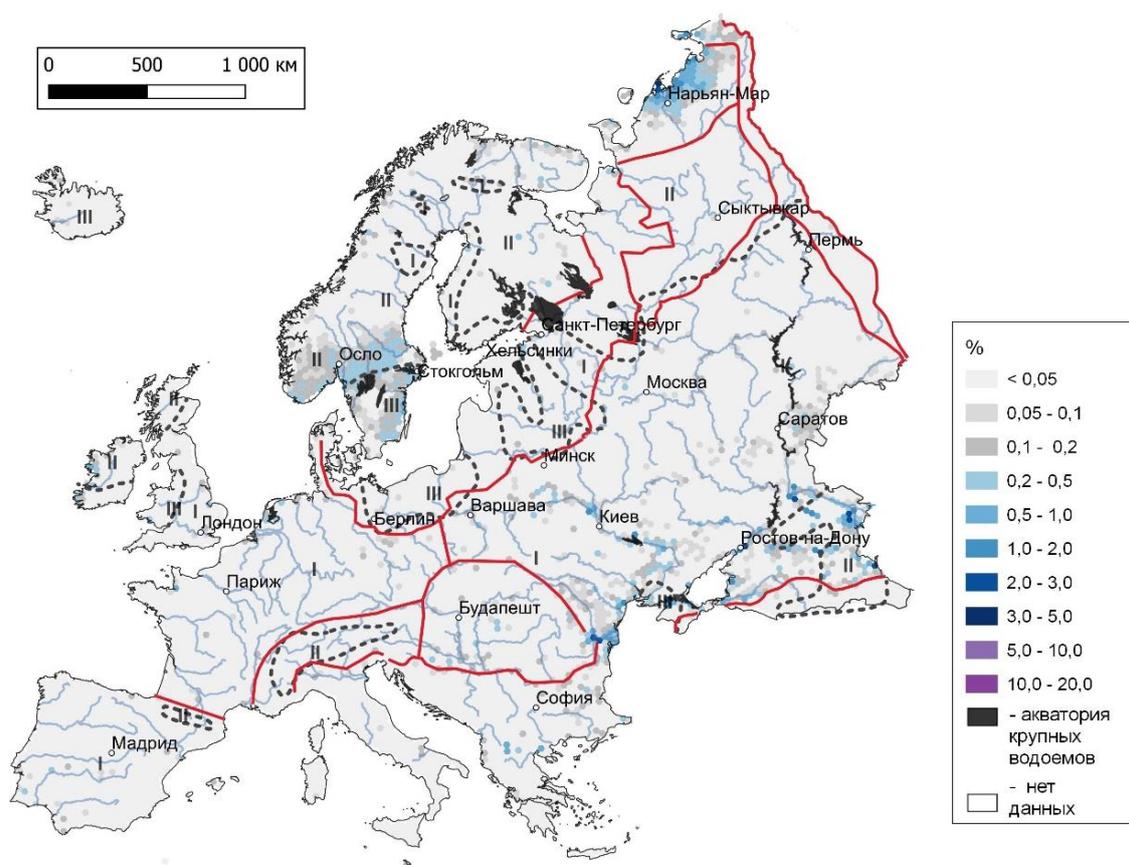


Рис. 4. Водные поверхности категории «lost permanent» по данным GSW

Красной линией отмечены границы озерных регионов

Fig. 4. Lost permanent water surfaces according to GSW

The red line indicates the boundaries of lake regions

Анализ изменения коэффициента озёрности по территории, как нами уже ранее отмечалось для территории России [Корнеевкова, Измайлова, 2019], свидетельствует об отсутствии его чёткой зависимости от континентальности климата или от широты местности. Значения естественной озёрности в большей степени обуславливаются геологическими факторами, нежели климатическими, при этом определяю-

щей является история геологического развития территории. Повышенная естественная озёрность, прежде всего, наблюдается в регионах, относительно недавно (по геологическим меркам) освободившихся от ледникового покрова или морских вод. При этом внутри этих регионов изменения коэффициентов озёрности обуславливаются уже различиями скульптурных форм рельефа и ландшафтов.

Таблица 2

Количество водоёмов и суммарные объёмы вод по озёрным регионам, выделенным в пределах Европы

Table 2

The number of water bodies and water resources by lake regions of Europe

Номер региона	Площадь, тыс. км ²	Общее количество водоёмов, тыс.	% естественных водоёмов	Естественные и искусственные водоёмы площадью 10–100 км ²	Естественные и искусственные водоёмы площадью > 100 км ²	Площадь водной поверхности естественных и искусственных водоёмов, тыс. км ²	Объём вод естественных (включая солоноватые) и искусственных водоёмов, км ³	Объём вод естественных водоёмов (включая солоноватые), км ³
1	145	117	99,9	78	8	10,9	62,7	56,0
2	182	75	99,3	166	23	36,4	913	905
3	350	33	89,4	90	11	24,6	391	375
4	416	250	100	35	1	10,8	20,3	20,3
5	602	51	97,2	4	0	1,69	4,85	4,80
6	405	25	52,0	19	5	7,34	33,9	2,05
7	400	32	35,9	9	1	2,42	10,5	0,44
8	337	32	62,5	7	7	12,3	84,9	0,94
9	830	50	51,0	87	14	16,4	88,2	4,58
10	230	25	90,0	12	2	0,99	4,34	0,84
11	92	3,5	71,4	11	1	0,87	7,52	0,52
12	103	31	97,0	28	1	1,92	28,0	23,0
13	316	47	56,0	84	8	5,73	96,4	91,8
14	1171	5620	99,9	841	80	91,4	1324	1320
15	1080	144	36,3	175	11	17,4	99,7	74,4
16	688	89	15,8	46	9	6,57	32,3	13,6
17	213	21	75,3	42	9	4,43	354	343
18	459	34	16,9	58	4	4,98	26,4	6,7
19	610	73	12,2	50	17	15,0	69,4	13,6
20	528	16	23,1	84	8	5,25	119	83,5
21	259	19	12,2	25	4	2,04	30,4	24,4
22	598	20	16,0	77	6	4,52	73	3,7

Водные ресурсы озёр Европы. Согласно проведённой оценке, в озёрах Европы суммарно содержится 3 285 км³ пресной воды и 88 км³ воды повышенной минерализации, в искусственных водоёмах – около 500 км³ воды. В табл. 2 представлены результаты оценки фонда естественных (включая лагуны и лиманы) и искусственных водоёмов Европы по выделенным озёрным регионам. Приведены данные по количеству водоёмов, суммарным площадям их водной поверхности и объёмам воды. Номера регионов соответствуют нумерации, ранее приведённой в тексте (включая табл. 1).

Суммарный запас вод в озёрах европейской части России составляет 1 371 км³, в искусственных водоёмах содержится 248 км³ воды. Суммарный запас вод в озёрах зарубежной Европы составляет 2002 км³, в искусственных водоёмах – 252 км³; на пресные озёра

приходится 1915 км³, на водоёмы с повышенной минерализацией (лагуны, лиманы, фьорды) – 87 км³; 18 км³ воды содержится в озёрах-водохранилищах.

Основной объём озёрных вод Европы сконцентрирован в водоёмах зоны распространения последнего четвертичного покровного оледенения (85 % всех вод естественных водоёмов континента). Всего в озёрах Европы, расположенных на территориях, находившихся под покровом последнего оледенения, заключено 2850 км³ воды: 47 % от данной величины приходится на озёра Северо-Запада России (регионы № 1–3), 46 % – на озёра Фенноскандии (Скандинавский полуостров и северо-западная часть Восточно-Европейской равнины в границах Финляндии), 4 % – на острова, 3 % – на прибрежные равнины Балтийского моря (рис. 5).

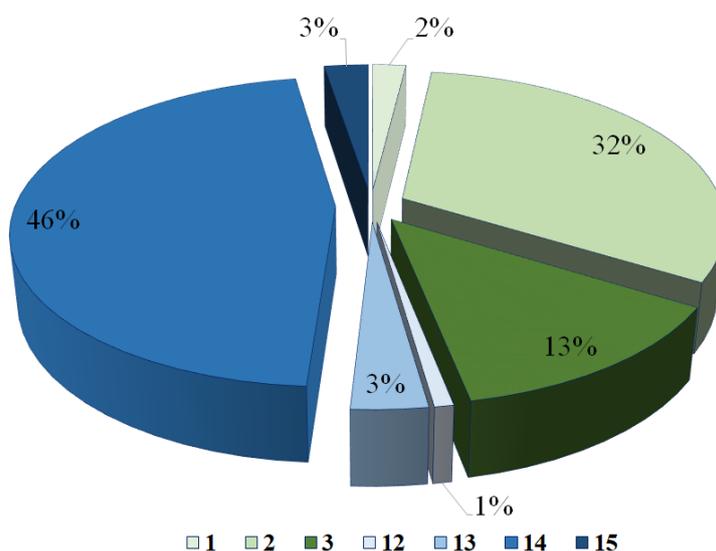


Рис. 5. Распределение объёмов вод в озёрах зоны распространения последнего четвертичного оледенения по озёрным регионам

Названия районов см. в тексте и в табл. 1, согласно единой нумерации

Fig. 5. Distribution of water volumes in lakes of the last Quaternary glaciation distribution zone by lake regions

See text and Table 1 for names of regions, according to uniform numbering

Несмотря на то что в пределах ЕЧР находятся два крупнейших водоёма Европы (Ладожское и Онежское озёра), объём всех озёрных вод Скандинавии сопоставим с запасом вод во всех озёрах ЕЧР, расположенных в зоне распространения четвертичного оледенения (1 324 и 1 340 км³ соответственно). В этой связи необходимо отметить, что при равнинном характере рельефа, характерном для большей части ЕЧР, небольшие озера редко характеризуются значительными глубинами и основные объёмы воды содержатся в обширных, глубоких котловинах тектонического (или смешанного – ледниково-тектонического) генезиса, среди которых Ладожское и Онежское озёра.

На большие озёра (превышающие по площади 100 км²) приходится 92 % от суммарных запасов озёрных вод ЕЧР, в то время как в Зарубежной Европе, характеризующейся значительно более расчленённым рельефом, – лишь немногим более половины её суммарного запаса.

С равнинным характером рельефа связаны и относительно небольшие запасы воды в озёрах Среднеевропейской и западной части Восточно-Европейской равнины. Озёрность данного региона достаточно высокая (как уже указывалось, резкое снижение озёрности происходит как раз по границе распространения последнего, материкового четвертичного оледенения,

носящего в Восточной Европе название «вислинское», на территории ЕЧР – «валдайское»), однако глубоких водоёмов практически нет, так что суммарные запасы воды невелики в сравнении с остальными районами распространения оледенения.

В озёрах равнинных регионов Западной и Восточной Европы, не затронутых последним четвертичным оледенением, суммарно содержится около 60 км³ воды (рис. 6), из которых около трети приходится на относительно небольшой по площади район распространения многолетней мерзлоты (прибрежные равнины Карского моря, регион № 4). Необходимо уточнить, что данная территория неоднократно оказыва-

лась затронутой четвертичными ледниковыми покровами, однако последнее (валдайское) оледенение сюда практически не доходило.

В то же время большая часть данного региона была покрыта обширными приледниковыми водоёмами, образующимися по периферии валдайского ледника за счёт оттока талых вод с его основного тела в пониженные участки [Давыдова и др., 1994]. Для более южных равнинных территорий Европы, оставшихся свободными от ледникового покрова в период последнего оледенения, характерно сосредоточение значительных объёмов вод в прибрежных водоёмах, часто характеризующихся повышенной минерализацией.

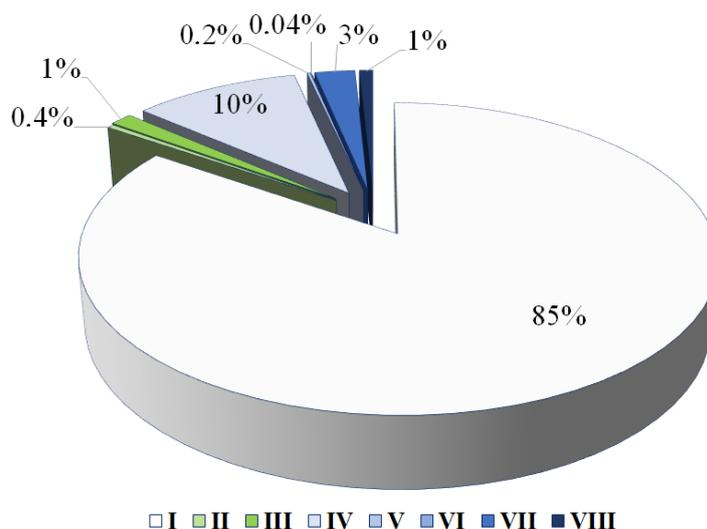


Рис. 6. Распределение объёмов вод в озёрах Европы

I – озёра зоны распространения последнего четвертичного оледенения; II – озёра равнинных регионов Западной Европы; III – озёра равнинных регионов Восточной Европы; IV – озёра Альпийского региона; V – озёра Карпатского региона; VI – озёра горных районов ЕЧР; VII – озёра Балканского п-ова; VIII – озёра Апеннинского и Пиренейского п-овов

Fig. 6. Distribution of water volumes in lakes of Europe

I – lakes in the zone of the last Quaternary glaciation distribution; II – lakes of the plain regions of Western Europe; III – lakes of the plain regions of Eastern Europe; IV – lakes of the Alpine region; V – lakes of the Carpathian region; VI – lakes of mountainous regions of the European part of Russia; VII – lakes of the Balkan Peninsula; VIII – lakes of the Apennine and Iberian peninsulas

Что касается горных территорий, основная масса воды естественных озёр приходится на Альпийский регион, где в относительно недавнем геологическом прошлом наблюдалось вюрмское оледенение. Согласно работе [Серебрянный, 1980], во время максимальной активизации ледниковых процессов основная масса льда концентрировалась в центре горной страны и в её северном предгорном обрамлении, тогда как на юге ещё сохранялись участки, свободные ото льда и не скованные многолетней мерзлотой.

В наследие вюрмского оледенения в Альпийском и предальпийском регионах осталось большое количество озёр, многие из которых занимают глубокие тектонические впадины, обработанные ледником.

Согласно проведённой оценке, в озёрах Альп и предальпийского пояса сосредоточено 343 км³ воды (10 % от суммарных водных ресурсов озёр Европы).

Значимыми запасами озёрных вод характеризуются и горные районы Балканского полуострова. Здесь много водоёмов карстового происхождения, в том числе среди достаточно крупных, часто имеющих смешанное происхождение, как Скадарское озеро, сформированное в течение третичного–четвертичного периодов за счёт растворения известковых пород в тектоническом бассейне [Data..., 1989]. Котловины озёр Охридского и Преспаского имеют тектоническое происхождение [Allen, Oseviski, 1976; Data..., 1989]. В озёрах Балканского полуострова содержится 83,5 км³ воды (2,5 % от суммарных водных ресурсов озёр Европы).

В остальных горных районах Европы количество озёр существенно ниже, и, несмотря на сильно пере-сечённый рельеф, суммарные запасы воды не столь велики. В озёрах Апеннинского и Пиренейского полуостровов содержится, соответственно, 24 и 3,7 км³, в Карпатском регионе – 6,7 км³, в озёрах горных районов ЕЧР – всего 1,4 км³.

Суммарный запас вод, содержащихся в искусственных водоёмах Европы, в 6,5 раза ниже суммарного запаса пресных озёрных вод. В пределах ЕЧР основная масса воды (90 %) сосредоточена в крупнейших водохранилищах площадью более 100 км². Для зарубежной Европы соотношение между объёмами воды в крупнейших водохранилищах и суммарными запасами воды во всех искусственных водоёмах существенно ниже и составляет 29 %. При этом в Южной Европе оно составляет 13 %, в Западной – 17 %, и лишь в Восточной Европе – 54 % в значительной степени благодаря крупнейшим водохранилищам стран бывшего СССР (в Украине, большая часть которой занимают равнинные территории, оно немногим меньше, чем в России).

При фактическом равенстве объёмов вод, содержащихся в водохранилищах ЕЧР и зарубежной Европы, суммарные площади водной поверхности искусственных водоёмов ЕЧР примерно в 1,5 раза больше. В работе [Румянцев и др., 2019] указывалось, что показатель площади затопления, приходящейся на 1 км³ полного и полезного объёмов, в России выше, чем в среднем по миру. По нашим расчётам, это соотношение для ЕЧР больше, чем для стран зарубежной Европы в 1,43 раза. С одной стороны, это определяется равнинностью территории, с другой – приверженностью в эпоху СССР к грандиозным проектам в области гидротехнического строительства, экологическая целесообразность которых в настоящее время подвергается сомнению.

Заключение

Согласно проведённой оценке, суммарный запас озёрных вод Европы составляет 3 373 км³, из которых

пресных – 3 285 км³. В сравнении с оценкой суммарного запаса озёрных вод мира, проведённой в [World..., 2003], это лишь 3,6 % общемирового запаса пресных озёрных вод. Необходимо заметить, что самое крупное озеро Европы – Ладожское (848 км³ воды [Ладога..., 2013]), занимает лишь 12-е место по объёму воды среди всех пресноводных озёр мира, при этом объём его воды составляет 1/28-ю часть от объёма воды крупнейшего пресноводного озера Байкал (23 615 км³ [A new...]).

Для Европы характерна значительная неравномерность распределения озёр по территории. Основное их количество (более 2/3) приходится на регионы, оказавшиеся под покровом последнего четвертичного материкового оледенения. В озёрах этих территорий сконцентрированы и основные объёмы озёрных вод (85 %). Ещё 10 % озёрных вод приходятся на Альпийский регион, который также в период последнего оледенения был практически полностью покрыт ледниками.

В распределении озёр прежде всего прослеживается зависимость от геологических факторов и геологической истории, и лишь незначительно – от континентальности климата или широты местности. Повышенная озёрность наблюдается в регионах, относительно недавно (по геологическим меркам) освободившихся от ледникового покрова или морских вод. При этом внутри этих регионов изменения коэффициентов озёрности обуславливаются различиями скульптурных форм рельефа.

Строительство искусственных водоёмов способствует увеличению озёрности в регионах, характеризующихся дефицитом водных ресурсов, т.е., прежде всего, зоны недостаточного увлажнения, а также районов активной хозяйственной деятельности зоны избыточного увлажнения. В водохранилищах Европы содержится около 500 км³ пресной воды или 15 % от суммарного запаса пресных вод водоёмов Европы. За счёт искусственных водоёмов суммарные запасы вод в ЕЧР увеличены примерно в 1,2 раза, а в зарубежной Европе – в 1,1 раза.

Список источников

- Давыдова Н.Н., Кузнецов В.К., Делюсина И.В., Субетто Д.А. Физико-географическая характеристика района и история развития озёр // Особенности структуры экосистем озёр Крайнего Севера. СПб., 1994. С. 6–17.
- Кочков Н.В., Рянжин С.В. Озера мира WORLDLAKE. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015621549.
- Корнеева Н.Ю., Измайлова А.В. Использование космической информации при оценке морфометрических характеристик озер и построении карт озёрности и густоты озёрной сети // Региональная экология. 2019. № 2(56). С. 43–50.
- Ладога. СПб. : Нестор-История, 2013. 468 с.
- Лосев К.С. Вода. Л. : Гидрометеиздат, 1989. 272 с.
- Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М. : Мысль, 1974. 48 с.
- Румянцев В.А., Измайлова А.В., Ульянова Т.Ю. Информационная система «Озера Земли» // Известия РГО. 2009. Т. 141, вып. 3. С. 8–14.
- Румянцев В.А., Коронкевич Н.И., Измайлова А.В., Георгиади А.Г., Зайцева И.С., Барабанова Е.А., Долгов С.В., Корнеева Н.Ю. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и пути минимизации их негативных последствий // Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике. Минск : СтройМедиаПроект, 2019. С. 193–209.

- Серебрянный Л.Р.** Древнее оледенение и жизнь. М. : Наука, 1980. 128 с.
- Allen H.L., Ocevski B.T.** Limnological investigations of a large, deep, oligotrophic lake (Lake Ohrid, Yugoslavia). Evaluation of nutrient availability and control of phytoplankton production through in situ radiobioassay procedures // Archiv fur Hydrobiologie. 1976. V. 77. P. 1–21.
- A new** bathymetric map of Lake Baikal. INTAS Project 99-1669. Ghent University, Ghent, Belgium; Consolidated Research Group on Marine Geosciences (CRG-MG), University of Barcelona, Spain; Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation; State Science Research Navigation-Hydrographic Institute of the Ministry of Defense, St. Petersburg, Russian Federation. Morphometric data. URL: <http://users.ugent.be/~mdbatist/intas/morphometry.htm> (дата обращения: 06.10.2018).
- Baumgartner A., Reichel E.** The world water balance: mean annual global, continental and maritime precipitation, evaporation and run-off. Elsevier, 1975. 179 p.
- Berner E.K., Berner R.A.** Global Environment: Water, Air and Geochemical cycles. Prentice Hall, 1996. 376 p.
- Data** book of world lake environments – a survey of the state of world lakes // A survey of the state of World Lakes. Otsu. 1987 – 1989 (II). Lake Biwa Res. Inst. & Intern. Lake Environ. Com. Foundation. Unit. Nat. Environ. Progr. Otsu and Kusatsu. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.11822/29592> (дата обращения: 16.10.2018).
- Downing J.A., Prairie Y.T., Cole J.J., Duarte C.M., Tranvick L.J., Striegel R.G., McDowell W.H., Kortelainen P., Melack J.M., Middleburg J.J.** The global abundance and size distribution of lakes, ponds and impoundments // Limnology and Oceanography. 2006. V. 51. P. 2388–2397.
- Fahrenkamp-Uppenbrink J.** How many lakes are there on Earth? // Science. 2014. V. 346, Is. 6207. P. 311–312.
- Google Earth Engine.** URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog> (дата обращения: 20.09.2021).
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., and Townshend J.R.G.** High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. V. 342, No. 6160. P. 850–853
- Izmailova A.V.** Water resources of the lakes of Russia // Geography and Natural Resources. 2016a. No. 4. P. 281–289
- Izmailova A.V.** Lake water resources of the European part of the Russian Federation // Water Resources. 2016b. V. 43, No. 2. P. 259–269.
- Izmailova A.V.** Lake Regions of the Russian Federation and their Water Resources // Geography and Natural Resources. 2020. V. 41, No. 2. P. 108–115.
- Izmailova A.V., Korneenkova N.Yu.** Lake Area Percentage in Russian Federation Territory and Its Governing Factors // Water Resources. 2020. V. 47, No. 1. P. 13–21.
- Kochkov N.V., Ryanzhin S.V.** A method for assessing lake morphometric characteristics with the use of satellite data // Water Resources. 2016. V. 43, No. 1. P. 15–20.
- Korzun V.I. (ed.)** World water balance and water resources of the Earth. Paris : UNESCO, 1978. 638 p.
- Lehner B., Doll P.** Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands // Journal of Hydrology. 2004. V. 296. P. 1–22.
- McDonald C.P., Rover J.A., Stets E.G., Striegl R.G.** The regional abundance and size distribution of lakes and reservoirs in the United States and implications for estimates of global lake extent // Limnology and Oceanography. 2012. V. 57, Is. 2. P. 597–606.
- Meybeck M.** Global distribution of lakes // Physics and Chemistry of Lakes. Berlin : Heidelberg, 1995. P. 1–36.
- Nace R.** Are we running out of water? // US Geological Survey Circular 536. Washington, DS : US Government Printing Office, 1967. 8 p.
- Nace R.L.** World water inventory and control /Ed. R. J.Chorley // Water, Earth and Man. London, 1969. P. 31–42.
- Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S.** High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // Nature. 2016. No. 540 (7633). P. 418–422.
- Ryanzhin S.V.** Global Statistics for surface area and water storage of natural world lakes // Verhein Intern. Verhein Limnol. 2006. V. 29, No. 2. P. 640–645.
- Tamrazyan G.P.** Total lake water resources of the planet // Bull. Geolog. Soc. Finland. 1974. V. 46, No. 1. P. 23–27.
- Verpoorter Ch., Kutser T., Seekell D.A., and Tranvik L.J.** A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery // Geophysical Research Letters. 2014. V. 41 (18). P. 6396–6402 (Supported by Formas/CoW).
- Wetzel R.G.** Limnology. 2nd ed. Saunders College Publishing, Philadelphia, 1983. 860 p.
- World Water Resources at the Beginning of 21st Century / ed. by I.A. Shiklomanov, J.C. Rodda.** Cambridge University Press, 2003. 450 p.

References

- Davydova N.N., Kuznetsov V.K., Delyusina I.V., Subetto D.A. *Fiziko-geograficheskaya kharakteristika rayona i istoriya razvitiya ozer* [Physical and geographical characteristics of the area and history of lake development] // *Osobennosti struktury ekosistem ozer Krainego Severa* [Features of the ecosystem structure of lakes in the Far North]. St.Petersburg, 1994. In Russian
- Kochkov, N.V., Rjanzhin, S.V. Lakes of the world WORLDLAKE. Database State Registration Certificate № 2015621549. 2016. In Russian.
- Korneenkova N.Yu., Izmaylova A.V. *Ispol'zovanie kosmicheskoy informatsii pri otsenke morfometricheskikh kharakteristik ozer i postroenii kart ozernosti i gustomy ozernoy seti* [The use of satellite images for assessment of lakes morphometric characteristics and for development of lake network density and lake percentage maps] // *Regional'naya ekologiya* [Regional ecology]. 2019. No. 2 (56). pp. 43–50. In Russian
- Ladoga [Ladoga]. St.Petersburg: Nestor-Istoriya, 2013. 468 p. In Russian
- Losev K.S. *Voda* [Water]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 272 p. In Russian
- L'ovich M.I. *Mirovye vodnye resursy i ikh budushchee* [World water resources and their future]. Moscow: Mesl Publ, 1974. 448 p. In Russian

- Rumyantsev V.A., Izmaylova A.V., Ul'yanova T.Yu. *Informatsionnaya sistema «Ozera Zemli»* [Earth Lakes Information System]// *Izvestiya RGO* [Proceedings of the Russian Geographical Society]. 2009. V. 141, No. 3. pp. 8–14. In Russian
- Rumyantsev V.A., Koronkevich N.I., Izmaylova A.V., Georgiadi A.G., Zaytseva I.S., Barabanova E.A., Dolgov S.V., Korneenkova N.Yu. *Antropogennye vozdeystviya na vodnye resursy Rossii i puti minimizatsii ikh negativnykh posledstviy* [Anthropogenic impacts on water resources in Russia and ways to minimise their negative consequences] // *Ekologo-geograficheskie problemy perekhoda k zelenoy ekonomike* [Ecological and Geographical Problems of Transition to a Green Economy]. Minsk: StroyMediaProekt, 2019. pp. 193–209. In Russian
- Serebryanny L.R. *Drevnee oledenenie i zhizn'* [Ancient glaciation and life]. Moscow: Nauka, 1980. 128 p. In Russian
- Allen H.L., Ocevski B.T. Limnological investigations of a large, deep, oligotrophic lake (Lake Ohrid, Yugoslavia). Evaluation of nutrient availability and control of phytoplankton production through in situ radiobioassay procedures // *Archiv fur Hydrobiologie*. 1976. V. 77. pp. 1–21.
- A new bathymetric map of Lake Baikal. INTAS Project 99–1669. Ghent University, Ghent, Belgium; Consolidated Research Group on Marine Geosciences (CRG-MG), University of Barcelona, Spain; Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation; State Science Research Navigation-Hydrographic Institute of the Ministry of Defense, St. Petersburg, Russian Federation. Morphometric data. URL: <http://users.ugent.be/~mdbatist/intas/morphometry.htm> (Date of accessed: 06.10.2018)
- Baumgartner A., Reichel E. The world water balance: mean annual global, continental and maritime precipitation, evaporation and run-off // Elsevier, 1975. 179 p.
- Berner E.K., Berner R.A. *Global Environment: Water, Air and Geochemical cycles*. Prentice Hall. 1996. 376 pp.
- Data book of world lake environments – a survey of the state of world lakes // *A survey of the state of World Lakes*. Otsu. 1987 – 1989 (II). Lake Biwa Res. Inst. & Intern. Lake Environ. Com. Foundation. Unit. Nat. Environ. Progr. Otsu and Kusatsu. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.11822/29592> (Date of accessed: 16.10.2018)
- Downing J.A., Prairie Y.T., Cole J.J., Duarte C.M., Tranvick L.J., Striegel R.G., McDowell W.H., Kortelainen P., Melack J.M., Middleburg J.J. The global abundance and size distribution of lakes, ponds and impoundments // *Limnology and Oceanography*. 2006. V. 51. pp. 2388–2397.
- Fahrenkamp-Uppenbrink J. How many lakes are there on Earth? // *Science*. 2014. Vol. 346, Iss. 6207. P. 311–312.
- Google Earth Engine. URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog> (Date of accessed: 20.09.2021).
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., and Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science*. 2013. Vol. 342, no. 6160. P. 850–853
- Izmailova A.V. Water resources of the lakes of Russia // *Geography and Natural Resources*. 2016. No. 4. P. 281–289
- Izmailova A.V. Lake water resources of the European part of the Russian Federation // *Water Resources*. 2016. V. 43, No. 2. pp. 259–269.
- Izmailova, A.V. Lake Regions of the Russian Federation and their Water Resources // *Geography and Natural Resources*. 2020. V. 41, No 2. pp. 108–115.
- Izmailova A.V., Korneenkova, N.Yu. Lake Area Percentage in Russian Federation Territory and Its Governing Factors // *Water Resources*. 2020. V. 47, No 1. pp. 13–21.
- Kochkov N.V., Ryzhzhin S.V. A method for assessing lake morphometric characteristics with the use of satellite data // *Water Resources*. 2016. V. 43, No. 1. pp. 15–20.
- Korzun V.I. (ed.) *World water balance and water resources of the Earth*. Paris: UNESCO, 1978. 638 p.
- Lehner B., Doll P. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands // *Journal of Hydrology*. 2004. V. 296. pp. 1–22.
- McDonald C.P. Rover J.A. Stets E. G. Striegel R.G. The regional abundance and size distribution of lakes and reservoirs in the United States and implications for estimates of global lake extent // *Limnology and Oceanography*. 2012. V. 57, Is. 2. pp. 597–606.
- Meybeck M. Global distribution of lakes // *Physics and Chemistry of Lakes*. Berlin, Heidelberg, 1995. pp. 1–36.
- Nace R. Are we running out of water? // *US Geological Survey Circular 536*. Washington, DS: US Government Printing Office. 1967. 8 p.
- Nace R.L. *World water inventory and control* /Ed. R. J.Chorley // *Water, Earth and Man*. London, 1969. pp. 31–42.
- Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // *Nature*. 2016. No. 540 (7633). pp. 418–422.
- Ryzhzhin S.V. Global Statistics for surface area and water storage of natural world lakes // *Verhein Intern. Verhein Limnol*. 2006. V. 29, No. 2. pp. 640–645.
- Tamrazyan G.P. Total lake water resources of the planet // *Bull. Geolog. Soc. Finland*. 1974. V.46. №1. pp. 23–27.
- Verpoorter Ch., Kutser T., Seekell D.A., and Tranvik L.J. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery // *Geophysical Research Letters*. 2014. V. 41 (18). pp. 6396–6402 (Supported by Formas/CoW).
- Wetzel R.G. *Limnology*/ 2nd ed. Saunders College Publishing, Philadelphia, 1983. 860 p.
- World Water Resources at the Beginning of 21st Century* / Ed. *Shiklomanov I.A., Rodda J.C.* Cambridge University Press, 2003. 450 p.

Информация об авторах:

Измайлова А.В., доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией озёр и водохранилищ, Государственный гидрологический Институт, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: ianna64@mail.ru

Корнеенкова Н.Ю., младший научный сотрудник, Институт озероведения Российской академии наук – Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: ntkorn87@gmail.com, natta-@bk.ru

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Information about the authors:

Anna Vladilenovna Izmailova, Dr. Sci. (Geography), Leading Researcher, Head, Laboratory of lakes and reservoirs, State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

E-mail: ianna64@mail.ru

Natalya Yurievna Korneenkova, Junior Researcher, Institute of Limnology RAS – a separate structural subdivision of "St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences", St. Petersburg, Russia

E-mail: ntkorn87@gmail.com, natta-@bk.ru

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 09.07.2023; одобрена после рецензирования 09.02.2024; принята к публикации 03.03.2025

The article was submitted 09.07.2023; approved after reviewing 09.02.2024; accepted for publication 03.03.2025