

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.55

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ ЕВРОПЫ¹

© 2022 г. А. В. Измайлова^{a, b, *}, Н. Ю. Корнеенкова^a

^aИнститут озераведения РАН – Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, 196105 Россия

^bГосударственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, 199004 Россия

*e-mail: ianna64@mail.ru

Поступила в редакцию 29.01.2021 г.

После доработки 08.07.2021 г.

Принята к публикации 27.07.2021 г.

Представлены результаты количественной оценки фонда естественных и искусственных водоемов Европы, выполненной по оригинальной методике, отработанной на территории России и модернизированной для территории зарубежной Европы с учетом новых возможностей автоматизированного дешифрирования водных объектов. Количество и площади водоемов определены с использованием массива Water Mask, основанного на обработке данных за продолжительный период времени (с 2000 по 2012 г.), а также снимков, представляемых программой “Google Планета Земля”. Для оценки запасов вод использованы зависимости между объемами воды в озере и его площадью и региональные зависимости между различными морфометрическими характеристиками озерных котловин, учитывающие их генезис и орографические особенности территории. Согласно проведенной оценке, в водоемах Европы суммарно содержится 3785 км³ пресной воды, из которых ~500 км³ – в искусственных водоемах, а также 88 км³ воды повышенной минерализации. Результаты оценки фонда естественных и искусственных водоемов зарубежной Европы представлены по группам стран, выделенным согласно общероссийскому классификатору стран мира, а европейской части России – по трем регионам схожей площади (северный, центральный и южный). Для европейской части России характерна большая пространственная неоднородность распределения озер и содержащихся в них водных ресурсов, чем для зарубежной Европы. На европейскую часть России приходится 41% объема озерных вод Европы и ~50% вод искусственных водоемов. Водообеспеченность, рассчитанная по запасам озерной воды, наиболее высока на севере европейской части России (99 тыс. м³/чел), в наиболее обеспеченных озерными ресурсами странах Северной Европы они составляют от 50 до 95 тыс. м³/чел. Центральная и южная части европейской части России и большинство стран Европы характеризуются низкой водообеспеченностью по запасам как речного стока, так и озерных вод. Несмотря на высокие суммарные показатели озерного фонда Европы в целом, ситуация с водными ресурсами центральной и южной частей европейской части России почти столь же напряженная, как и в ряде стран Европы.

Ключевые слова: водные ресурсы, озера, Европейская часть России, страны Европы, водообеспеченность.

DOI: 10.31857/S0321059622010072

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире вопросы оценки запасов пресной воды выходят на передний план при планировании практически всех видов хозяйственной активности, так что неудивительно, что периодически предпринимаются попытки исчисления озерного фонда в планетарном масштабе [9, 10, 16, 17, 19, 20, 22, 23]. В последних работах по

данной тематике [13, 15, 21] на основе анализа спутниковой информации предложены уточнения полученных ранее аналитическими методами данных по количеству водоемов и их суммарным площадям. Однако, несмотря на ряд предлагаемых уточнений, основной фундаментальный вопрос – сколько на Земле озер и сколько в них воды – остается нерешенным как в планетарном, так и в континентальном масштабе.

По количеству озер и запасам содержащейся в них воды Россия существенно опережает другие страны Евразийского континента. С одной стороны, это позволяет считать ее водные ресурсы

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН (тема 0154-2019-0004 “Закономерности распределения озер по территории Евразии и оценка их водных ресурсов”).

конкурентоспособными; с другой стороны, несмотря на колоссальные количественные показатели озерного фонда, Россия характеризуется крайней неравномерностью распределения водных ресурсов по территории и достаточно слабой согласованностью основных центров размещения населения и производства и их доступности. Известно, что ряд стран Евразии испытывает значительные проблемы, связанные с нехваткой воды; а другие страны, напротив, обладают огромными ресурсами вод, прежде всего озерных. В то же время отсутствуют количественные характеристики суммарных запасов озерных вод континента; а единичные оценки, проведенные по ряду стран, чаще всего плохо сопоставимы между собой из-за разных методических подходов и включения в расчет водоемов различной крупности и генезиса (с учетом или не учетом прибрежных или искусственных водоемов). В этой связи представляет интерес на основе единой методики оценить водные ресурсы озер всего континента, а также запасов вод, заключенных в искусственные водоемы, для их последующего анализа, сопоставления и определения доли фонда естественных и искусственных водоемов России в водных ресурсах Евразии. Такая работа в настоящее время проводится в Институте озероведения РАН (ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН). В рамках данной статьи представлены результаты оценки фонда естественных и искусственных водоемов, проведенной для европейской части континента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ

Оценка водных ресурсов естественных и искусственных водоемов Европы выполнялась на основе специально разработанной методики [4], изначально опробованной на территории России и впоследствии модернизированной для территории зарубежной Европы с учетом новых возможностей автоматизированного дешифрирования водных объектов. Определение количества водоемов и площадей водной поверхности разных территорий Российской Федерации проводилось в первой половине 2010-х гг. и было основано на визуально-инструментальном дешифрировании озер и водохранилищ на современных спутниковых снимках, предоставляемых программой “Google Планета Земля”. Далее по полученному количеству водоемов и площадям их водной поверхности с учетом средних глубин определялись объемы их вод. При этом последовательно суммировались объемы морфометрически изученных и слабо- или неизученных водоемов [2–4].

Развитие современного аппарата обработки космических изображений, включающего в себя автоматизированное дешифрирование водных объектов с использованием глобальных наборов данных и многоканальных водных индексов, в

том числе NDWI, MNDWI, AWEI, позволяет ускорить визуально-инструментальную оценку фонда естественных и искусственных водоемов при перенесении ее на территорию зарубежной Европы. С этой целью в рамках настоящего исследования наряду с определением водоемов на снимках, представленных программой “Google Планета Земля”, использован массив Water Mask [14], основанный на обработке данных за продолжительный период (с 2000 по 2012 г.) и имеющий степень детализации, позволяющую идентифицировать водоемы с малой площадью водного зеркала. Обработка растров и вычисление площадей озер и водохранилищ проводились в программной среде QuantumGIS (QGIS), после чего проводились коррекция площадей методом визуального дешифрирования и в случае погрешности в данных исходного раstra – уточнение количества озер и их площадей, в том числе с использованием данных “Global Surface Water Seasonality” [18], космических снимков и GLWD [6].

Для территории зарубежной Европы, характеризующейся достаточно высокой морфометрической изученностью водоемов, оказалось оправданным и более масштабное применение зависимости между объемами воды в озере и его площадью, разработанной в ИНОЗ РАН С.В. Рянжиным и Н.В. Кочковым [7]. Вид такой зависимости, основанной на данных о морфометрически изученных водоемах Европы, показан на рис. 1, где приведена общая зависимость, построенная по всем европейским озерам, входящим в базу данных WORLDLAKE [8]. Применительно к отдельным регионам зависимость может меняться, ее форма в значительной степени определяется происхождением котловин.

Необходимо заметить, что, несмотря на высокую корреляцию между указанными характеристиками (объем–площадь), приведенная зависимость может давать значительную ошибку (иногда в несколько раз) при определении объемов больших и средних озер, хотя она применима при определении объемов многочисленных малых водоемов. По средним и большим водохранилищам данные о полных объемах воды практически всегда присутствуют (объемы воды выбирались при нормальном подпорном уровне (НПУ)).

Вероятность ошибки важно учитывать при использовании зависимости объем–площадь в регионах с невысокой лимнологической изученностью. Так, в России морфометрическая изученность средних озер невысокая, и использование данной зависимости может приводить к значительным ошибкам при определении суммарных запасов воды в районах, где основной запас воды сконцентрирован в нескольких слабоизученных озерах. Поэтому при оценке водных ресурсов озер России особое внимание уделялось возмож-

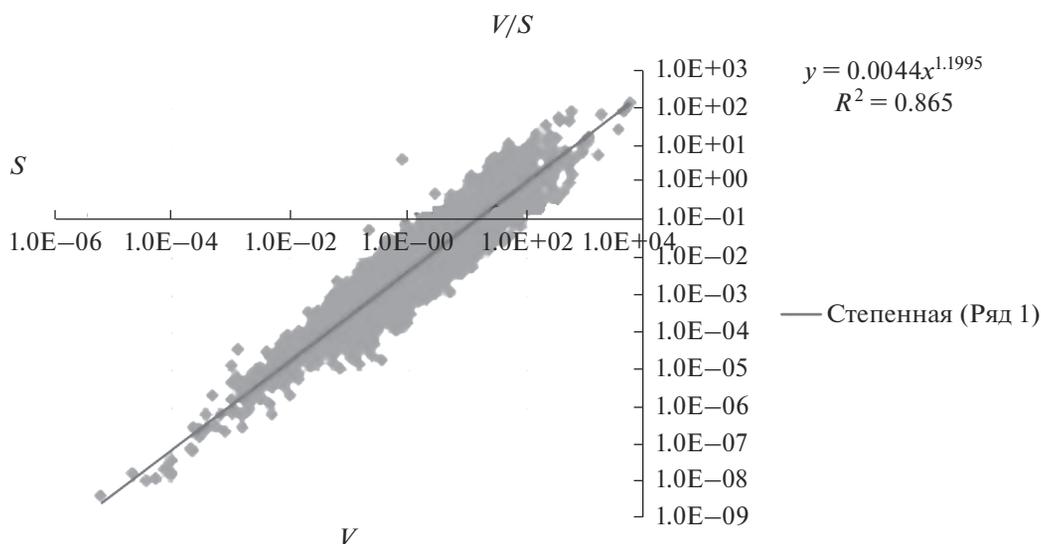


Рис. 1. Общая зависимость между площадью S и объемом V озер Европы (R^2 – коэффициент аппроксимации).

ности определения средних глубин водоемов на основе региональных зависимостей между различными морфометрическими характеристиками озерных котловин, учитывающих также орографические особенности территории и генезис котловин. В Европе большинство озер, вносящих основной вклад в суммарный водозапас, морфометрически изучены, т. е. по ним есть необходимые данные как по глубинам (средним и наибольшим), так и по объемам воды (табл. 1). Благодаря этому использование региональных зависимостей объем–площадь приводит к относительно небольшой ошибке в суммарных значениях водных ресурсов.

Таким образом, представленная в настоящей статье оценка фонда естественных и искусственных водоемов Европы базируется на полученных ранее данных по фонду европейской части России (ЕЧР) [4] и на результатах новой оценки фонда естественных и искусственных водоемов зарубежной Европы, проведенной с использованием как автоматизированного, так и визуально-инструментального дешифрирования (с целью их

сопоставления и необходимой коррекции). Полученный массив данных по площадям водоемов зарубежной Европы дополнен характеристиками глубин водоемов и объемов содержащихся в них вод, взятых из баз данных “Озера Земли” и WORLDLAKE, собираемых в ИНОЗ РАН на протяжении нескольких десятков лет на основе постоянного мониторинга литературных и справочных источников. Далее с учетом построенных для различных частей зарубежной Европы зависимостей между морфометрическими характеристиками водоемов проводился переход от площадных к объемным характеристикам озерного фонда. Для регионов, по которым характер зависимостей для водоемов, различающихся по своему происхождению, существенно различался, определялся ряд зависимостей, чаще всего выделялись искусственные водоемы и водоемы, привязанные к речной сети. Как видно из рис. 1, зависимость объем–площадь имеет общий вид $V \approx \alpha S^{\beta}$. При анализе изменения полученных значений параметров данной зависимости по всей территории Европы обратило на себя внимание увеличение

Таблица 1. Объем собранной морфометрической информации по озерам зарубежной Европы

Регион	Количество морфометрически изученных озер		Морфометрически изученные озера относительно их общего количества, %	
	>10 км ²	1–10 км ²	>10 км ²	1–10 км ²
Озера Северной Европы	412	1749	47	23
Озера Западной Европы	58	307	95	74
Озера Восточной Европы	78	765	93	85
Озера Южной Европы	41	83	91	66
Вся зарубежная Европа	589	2904	55	32

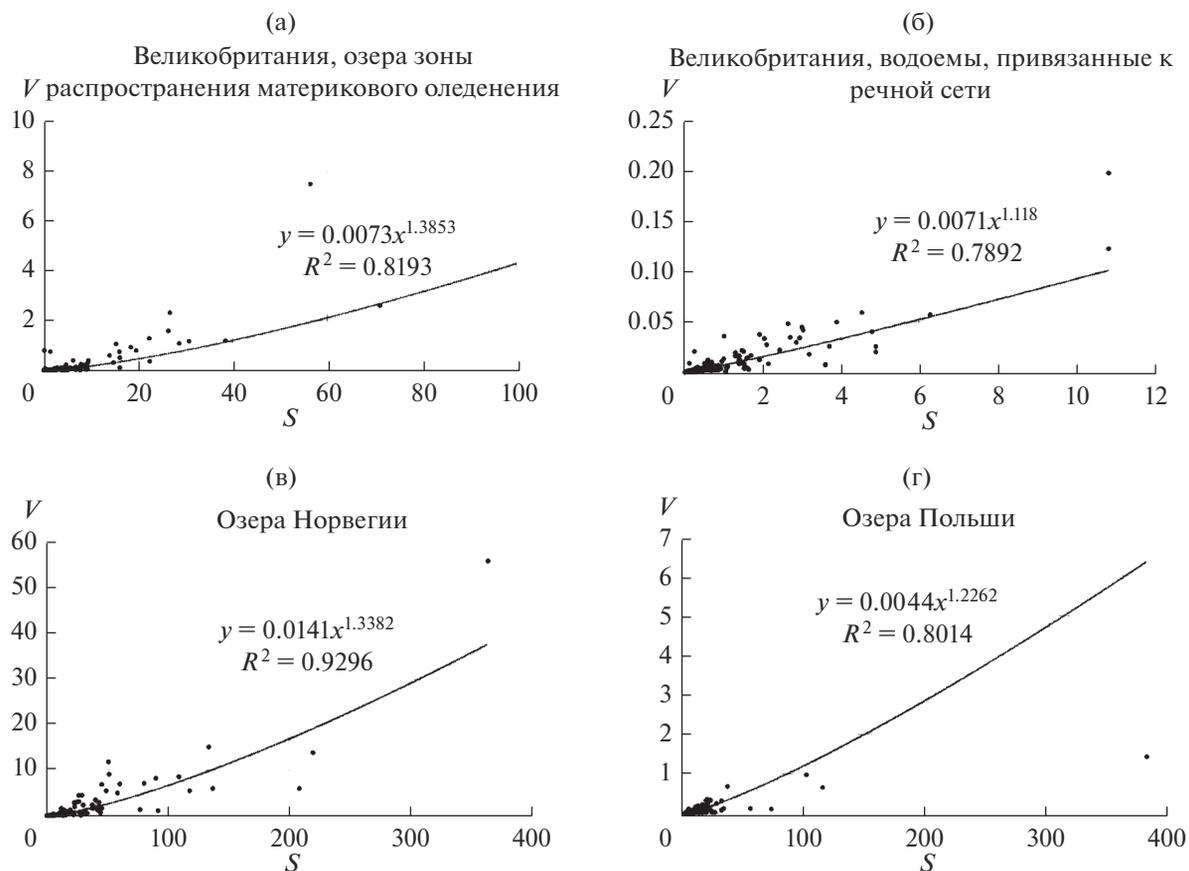


Рис. 2. Пример зависимостей между площадью S и объемом V озер для стран Европы.

обоих параметров в областях с преобладанием доли тектонических, ледниково-тектонических или вулканических озер. В силу того, что скорость приращения объема с ростом площади прежде всего определяется параметром β , то не странно, что наиболее высокие значения этого параметра характерны для регионов со значительной расчлененностью рельефа, где доля таких озер достаточно высока. Данное утверждение можно продемонстрировать на примере территорий Феноскандии, характеризующихся общностью геологического прошлого. Получена зависимость: по данным морфометрически изученных озер гористой Норвегии — $V \approx 0.0141S^{1.3382}$ (рис. 2г), Швеции — $V \sim 0.0047S^{1.2133}$, более равнинной Финляндии — $V \sim 0.0044S^{1.0891}$. На равнинных территориях приращение объема с ростом площади происходит медленно и чаще всего оба параметра (α и β) меньше, чем для общей зависимости, приведенной на рис. 1. Наиболее близкой к общей зависимости оказалась зависимость, полученная для озер Польши (рис. 2в). Наименьшие значения обоих параметров были ранее выявлены для равнинных тундровых областей северо-востока ЕЧР, а в пределах зарубеж-

ной Европы — для Юго-западной части Восточно-Европейской равнины. Так, для естественных водоемов Украины получена зависимость $V \sim 0.0032S^{0.9055}$. Внутри какой-либо конкретной территории, где широко представлены озера, различающиеся по происхождению, зависимость, построенная по всем имеющимся данным, может быть нечетко выражена (слабая корреляция), в то же время при разделении водоемов на группы (по происхождению) частные зависимости будут характеризоваться более высокими значениями корреляции. При этом значения параметров (прежде всего β) чаще всего будут меньше у водоемов, привязанных к речной сети (рис. 2а, 2б). Исключение составляют равнинные районы зоны недостаточного увлажнения, где большинство наиболее глубоких озер расположено в долинах крупных рек.

Примеры зависимостей объем—площадь приведены на рис. 2. Еще раз необходимо подчеркнуть, что для региональных оценок по территории России использование данной зависимости было не всегда оправданным и требовало проведения дополнительных работ по вычислению глубин средних и больших озер.

Таблица 2. Фонд естественных и искусственных водоемов Европы

Регион	Количество водоемов		Площадь водной поверхности водоемов, км ²		Общая озерность, %	Суммарный объем вод водоемов, км ³		Удельная водообеспеченность, тыс. м ³ /чел
	естественных	искусственных	естественных	искусственных		естественных	искусственных	
Северная Европа	628300	37500	103110	1590	5.79	1465	15	13.7
Западная Европа	26660	132710	9410	5100	1.21	258	40	1.43
Восточная Европа	42850	123080	13100	14590	1.63	51	91	0.89
Южная Европа	13470	42000	6350	5800	0.93	227	106	2.12
Север ЕЧР	540000	3110	77000	6200	4.93	1358	28	99
Центр ЕЧР	50930	69330	2980	25460	1.68	9	161	2.48
Юг ЕЧР	18220	18760	4800	8260	2.11	4.6	59	2.38
Европа всего	1320430	426490	216750	67000	2.83	3373	500	5.35

Оценка количества водоемов, суммарных площадей водной поверхности и объемов вод проводилась для всех стран Европы с их последующим суммированием по группам. В рамках настоящей статьи результаты будут приводиться по группам стран, выделенным на территории зарубежной Европы согласно Общероссийскому классификатору стран мира [11]: страны Северной Европы (Гернси, Дания, Джерси, Ирландия, Исландия, Латвия, Литва, Норвегия, Остров Мэн, Соединенное Королевство, Фарерские острова, Финляндия, Швеция, Шпицберген и Ян Майен, Эландские острова, Эстония); страны Западной Европы (Австрия, Бельгия, Германия, Лихтенштейн, Люксембург, Монако, Нидерланды, Франция, Швейцария); страны Восточной Европы (Беларусь, Болгария, Венгрия, Молдова, Польша, Румыния, Словакия, Украина, Чехия); страны Южной Европы (Албания, Андорра, Босния и Герцеговина, Гибралтар, Греция, Испания, Италия, Мальта, Папский Престол, Португалия, Республика Македония, Сан-Марино, Сербия, Словения, Хорватия, Черногория). Европейская часть России будет разделена на 3 региона: север ЕЧР (Северо-Западный Федеральный округ (ФО)); центр ЕЧР (Центральный и Приволжский ФО) и юг ЕЧР (Южный и Северо-Кавказский ФО).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ

Согласно проведенной оценке, в пределах Европы на снимках дешифрируется более 1750 тыс. водных объектов, среди которых естественных водоемов ~1320 тыс. и искусственных ~430 тыс., в том числе в пределах ЕЧР соответственно 700 тыс., 610 тыс. и 90 тыс. Площадь водной поверхности Европы составляет ~284 тыс. км², из которых чуть <¼ приходится на водоемы искусственного происхождения, средняя озерность со-

ставляет 2.8%, в том числе естественная (за вычетом площади искусственных водоемов) – 2.3%. В водоемах Европы суммарно содержится 3785 км³ пресной воды, из которых ~500 км³ – в искусственных водоемах, а также 88 км³ воды повышенной минерализации.

В табл. 2 представлены результаты оценки фонда естественных и искусственных водоемов Европы по семи выделенным регионам (4 региона в пределах зарубежной Европы и 3 в пределах России). Наряду с полученными количествами естественных и искусственных водоемов, суммарными площадями их водной поверхности и объемами воды приведены значения средней озерности как удельного показателя площадей водной поверхности и значения удельной водообеспеченности за счет водных ресурсов, содержащихся в озерах и водохранилищах. Удельная водообеспеченность приведена в единицах (тыс. м³/чел.), аналогичных водообеспеченности, рассчитываемой в [23] по данным о возобновляемых водных ресурсах (тыс. м³/чел. год).

По полученным данным, суммарный запас вод в озерах зарубежной Европы составляет 2002 км³, в искусственных водоемах – 252 км³. На пресные озера приходится 1915 км³, на водоемы с повышенной минерализацией (лагуны, лиманы, фьорды) – 87 км³. 18 км³ воды содержится в озерах-водохранилищах. Основной объем вод сконцентрирован в водоемах Северной Европы, по расчетам авторов статьи – 1479 км³, или ~2/3 суммарного запаса вод зарубежной Европы.

Суммарная площадь территорий стран Северной Европы составляет ~30% площади территории зарубежной Европы, в них проживает ~18% ее населения. Наибольший запас вод приходится на страны Скандинавского полуострова (1324 км³), что связано с широким распространением здесь

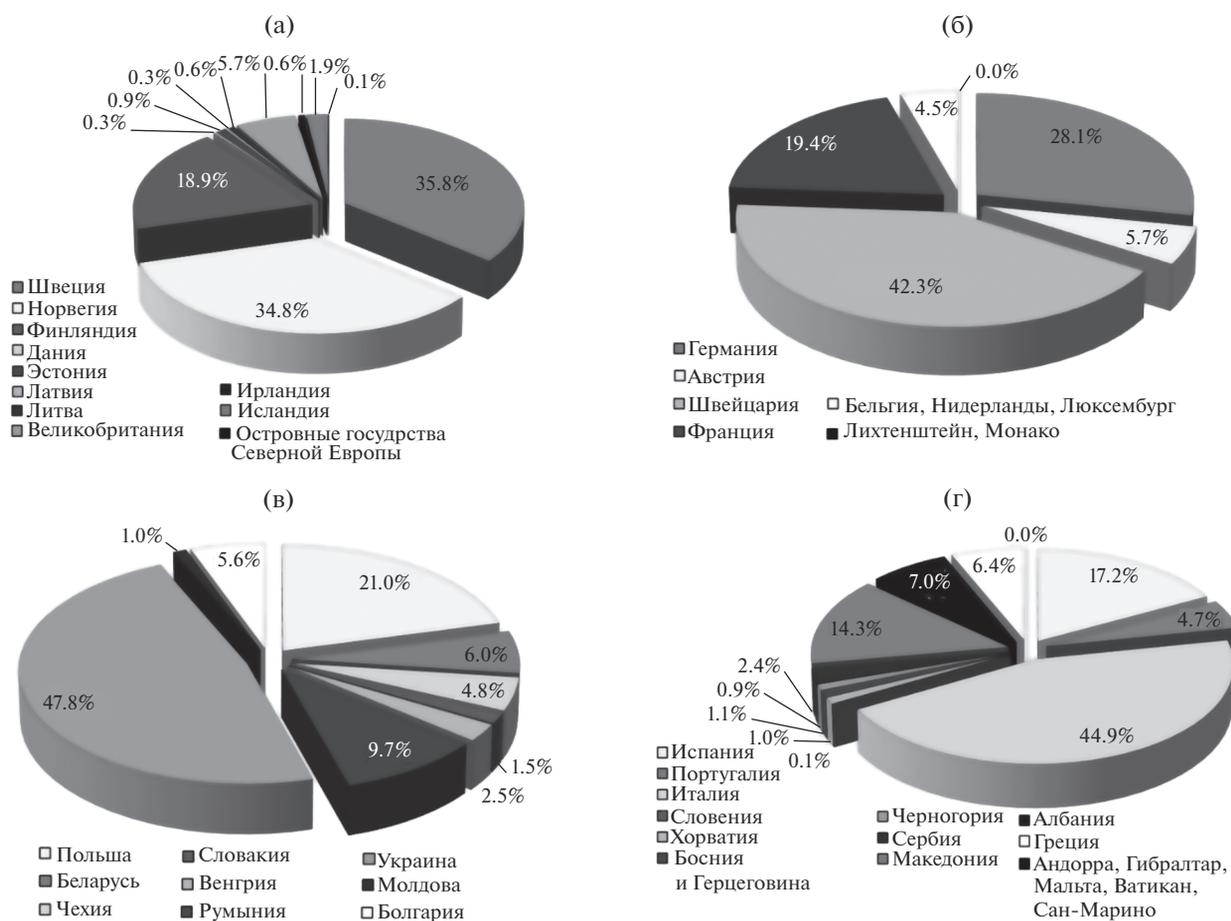


Рис. 3. Распределение суммарных объемов вод (естественных и искусственных водоемов) по странам зарубежной Европы: а – Северная Европа; б – Западная Европа; в – Восточная Европа; г – Южная Европа.

озер, оставшихся в наследие от последнего четвертичного оледенения среди сильно пересеченного рельефа. И в Швеции, и в Норвегии суммарные запасы озерных вод $>500 \text{ км}^3$, при этом в Швеции $\sim 2/3$ этой величины приходится на большие озера (с площадью $>100 \text{ км}^2$), тогда как в Норвегии $\sim 50\%$ сосредоточено в средних озерах (площадью от 10 до 100 км^2), большинство из которых имеют значительные глубины. Суммарные запасы воды в водоемах Финляндии, лишь частично расположенной на Скандинавском полуострове и характеризующейся более равнинным рельефом, составляют $\sim 280 \text{ км}^3$ при том, что коэффициент ее озерности ($>11\%$) самый высокий среди стран зарубежной Европы. Величины запасов вод в остальных странах Северной Европы на 1–2 порядка ниже (рис. 3а), даже в лидирующей среди них Великобритании сосредоточено 87 км^3 воды, в том числе в пресных озерах $\sim 49 \text{ км}^3$. Запасы воды в искусственных водоемах стран Северной Европы составляют лишь $\sim 1\%$ ее суммарного запаса вод. Наибольшими долями вод, сосредоточенных в искусственных водоемах, характеризу-

ются Латвия и Дания (соответственно 32 и 25% общего запаса вод страны).

На страны Западной Европы приходится $\sim 20\%$ площади зарубежной Европы, это ее наиболее густонаселенный регион ($\sim 1/3$ населения). Суммарные запасы вод в водоемах Западной Европы, по оценке авторов статьи, составляют 298 км^3 , из которых 40 км^3 (13.4%) сосредоточены в водохранилищах. На страны Западной Европы приходится $\sim 13\%$ суммарного запаса озерных вод зарубежной Европы и $\sim 16\%$ суммарного запаса вод ее искусственных водоемов. Наиболее крупные и глубокие озера находятся в Альпах, вследствие этого значительный запас озерных вод сконцентрирован в Швейцарии (123 км^3), а также в альпийских районах Германии и Франции (рис. 3б). На территории Австрии практически нет больших озер (в ее пределах расположена лишь небольшая часть акватории Боденского озера), в связи с этим ее озерные ресурсы не столь высоки, как у соседних стран. Наибольшая доля вод, сосредоточенных в искусственных водоемах, — у

стран Бенилюкса и Франции (соответственно 37 и 28% общего запаса вод страны).

28% площади зарубежной Европы приходится на страны Восточной Европы, в которых проживает $\sim\frac{1}{4}$ ее населения. Суммарные запасы вод в водоемах Восточной Европы оцениваются авторами статьи в 142 км^3 , из них 91 км^3 (64%) заключен в искусственных водоемах; т.е. в озерах Восточной Европы сосредоточено лишь 2.5% суммарного запаса озерных вод зарубежной Европы, в то время как в водохранилищах – $>36\%$. Наибольшим объемом озерных вод характеризуется Польша ($\sim 25 \text{ км}^3$), на значительной части которой остались относительно крупные водоемы в наследие от последнего оледенения. Значимые запасы воды сосредоточены и в озерах Украины ($\sim 13 \text{ км}^3$), среди которых много водоемов с повышенной минерализацией вдоль побережья Черного моря. На долю Украины благодаря большой емкости Днепровских водохранилищ приходится и $\sim 60\%$ суммарного запаса вод, содержащихся в искусственных водоемах Восточной Европы. В Чехии, Словакии, Болгарии и Молдове суммарные запасы озерных вод $< 1 \text{ км}^3$, тогда как запасы вод искусственных водоемов во всех странах Восточной Европы $> 1 \text{ км}^3$. В большинстве стран на долю искусственных водоемов приходится от 70 до 96% суммарного запаса вод, исключение составляют лишь Польша, Венгрия и Беларусь, где преобладают озерные воды. Среди стран Восточной Европы самые высокие суммарные запасы воды в Украине, самые низкие – в Молдове (рис. 3в).

На страны Южной Европы приходится $\sim 22\%$ площади зарубежной Европы, здесь примерно такое же население, как и в Восточной Европе, то есть $\sim\frac{1}{4}$ населения всей зарубежной Европы. Суммарные запасы вод в водоемах Южной Европы, по оценке авторов статьи, составляют 333 км^3 , из которых на искусственные водоемы приходится 106 км^3 . Наиболее крупные и глубокие озера расположены в горной части региона, в южной части Альп и в горах Балканского и Апеннинского полуостровов; наибольшие запасы вод сосредоточены в озерах Италии (141 км^3), значительные запасы (от 13 до 46 км^3) – в озерах Греции, Албании и Македонии. Среди стран зарубежной Европы по объему вод, заключенных в водохранилища, лидирует Испания ($> 1/2$ суммарного запаса вод в искусственных водоемах Южной Европы и $> 1/5$ – всей зарубежной Европы), что делает ее общие запасы вод сопоставимыми с запасами в остальных крупных странах (рис. 3г). Почти 7% озерных вод Южной Европы характеризуются повышенной минерализацией.

На ЕЧР приходится $\sim 40\%$ площади всей Европы и $\sim 16\%$ ее населения, по количеству жителей она лишь немногим превышает население стран

Северной Европы. Согласно проведенной ранее оценке [3, 4], в ЕЧР водные ресурсы естественных водоемов составляют 1372, а искусственных – 248 км^3 . В отличие от зарубежной Европы, для ЕЧР характерно крайне неравномерное распределение озер по территории и, соответственно, суммарных водных ресурсов: $\sim 99\%$ озерных вод (1358 км^3) приходится на север ЕЧР, запасы вод в озерах в центре и на юге ЕЧР несопоставимо меньше (9 и 4.6 км^3 соответственно).

В ЕЧР сконцентрирован 41% объема озерных вод Европы, прежде всего – в расположенных в ее пределах больших озерах. На большие озера приходится 92% суммарных запасов озерных вод ЕЧР и лишь немногим $> 50\%$ суммарных запасов озерных вод зарубежной Европы. Это соотношение в значительной степени определяется особенностями рельефа: в равнинных регионах небольшие озера редко характеризуются значительными глубинами и основные объемы воды содержатся в обширных, глубоких котловинах тектонического (или смешанного – ледниково-тектонического) генезиса, среди которых крупнейшие озера Европы – Ладожское и Онежское.

Как уже указывалось, в пределах ЕЧР проживает лишь $\sim 16\%$ населения Европы; вместе с тем, несмотря на большие запасы вод в естественных и искусственных водоемах, рассчитанные на их основе значения удельной водообеспеченности (табл. 2) в центре и на юге ЕЧР лишь немногим больше, чем в странах Западной, Восточной и Южной Европы. Поскольку основой ресурсов поверхностных вод суши традиционно считается речной сток, необходимо уточнить, что и по его ресурсам большинство стран Центральной и Южной Европы характеризуются как низкообеспеченные [23]. В ЕЧР в регионах с низкой водообеспеченностью в настоящее время проживает $\sim 45\%$ населения, в том числе 24% – в регионах с очень и катастрофически низкой водообеспеченностью ($< 2 \text{ тыс. м}^3/(\text{чел. год})$ по запасам речного стока) [12]. Высокая водообеспеченность за счет ресурсов речного стока и запасов вод в поверхностных водоемах характерна лишь для севера ЕЧР и стран Северной Европы. При этом водообеспеченность, рассчитанная по запасам озерной воды (табл. 2), наиболее высока на севере ЕЧР (99 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$). В наиболее обеспеченных озерными ресурсами странах зарубежной Европы, к которым относятся (в порядке увеличения водообеспеченности) Финляндия, Швеция, Исландия и Норвегия, они составляют от 50 до 95 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$

При недостатке озерных вод, наблюдаемом на значительной территории ЕЧР, проблема водоснабжения в известной мере решена за счет строительства крупных водохранилищ. Необходимо подчеркнуть, что суммарный запас вод водохра-

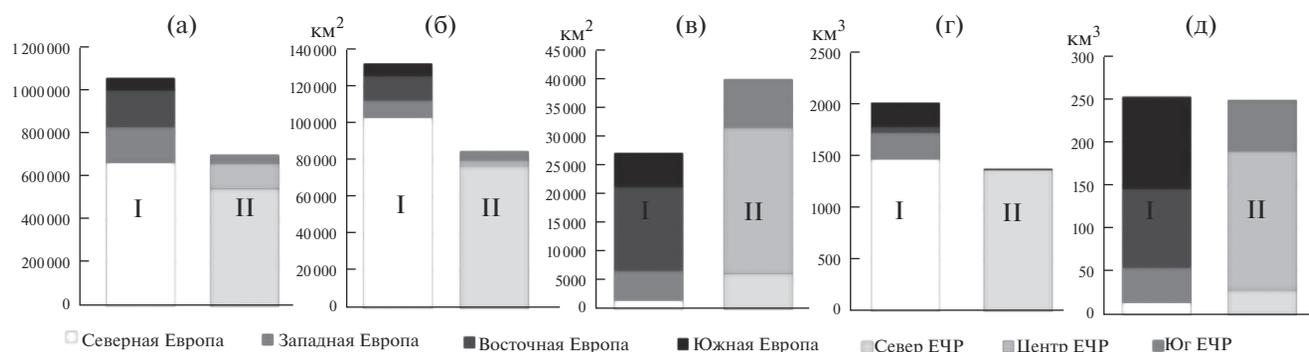


Рис. 4. Сравнение фонда водоемов зарубежной Европы (I) и ЕЧР (II): а – количество водоемов; б – площадь водной поверхности озер; в – площадь водной поверхности искусственных водоемов; г – объемы озерных вод; д – объемы вод водохранилищ.

нилищ ЕЧР практически равен суммарному запасу вод в водохранилищах всей зарубежной Европы. Объемы вод искусственных водоемов в центре ЕЧР в 18 раз превышают запасы озерных вод, а на юге ЕЧР – в 13 раз. Сравнение с данными по зарубежной Европе показывает, что запасы вод в водохранилищах центральной части ЕЧР в 1.2 раза выше, чем в странах Восточной и Западной Европы (суммарно), а южной части ЕЧР – в 1.1 раза больше, чем в Испании, но в 1.7 раза меньше суммарного запаса всей Южной Европы. На рис. 4 представлено сопоставление фондов естественных и искусственных водоемов ЕЧР и зарубежной Европы.

Необходимо отметить, что на расположенные в пределах ЕЧР крупнейшие водохранилища (площадью >100 км²) приходится ~90% суммарного запаса вод, содержащихся во всех искусственных водоемах. Для зарубежной Европы это соотношение существенно ниже – в среднем лишь 29%. При этом в Южной Европе оно составляет всего 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 объемов вод, содержащихся в водохранилищах ЕЧР и зарубежной Европы, суммарные площади водной поверхности искусственных водоемов ЕЧР в ~1.5 раза больше. Затопление земель при строительстве водохранилищ приводит к дополнительным потерям воды на испарение, оцениваемым для крупных водохранилищ России (объемом >1 млн м³) в 11 км³/год [1]. Почти 50% этой величины составляют потери на испарение с поверхности водохранилищ Волжско-Камского каскада. В [12] указано, что площадь затопления, приходящаяся на 1 км³ полного и полезного объемов, в России выше, чем в среднем в мире. По расчетам авторов

статьи, это соотношение для ЕЧР больше, чем в среднем для стран зарубежной Европы, в 1.43 раза. Это определяется, с одной стороны, равнинным рельефом территории, с другой – развитием в эпоху СССР грандиозных проектов в области гидротехнического строительства, экологическая целесообразность которых в настоящее время периодически подвергается сомнению.

Распределение водоемов по территории в значительной мере характеризует коэффициент озерности. Этот коэффициент, рассчитанный с учетом площадей как естественных, так и искусственных водоемов, наиболее высокий в Северной Европе (среднее значение 5.8%) и на севере ЕЧР (4.9%). Среди стран зарубежной Европы лишь в Финляндии его среднее значение >10%, на ЕЧР оно превышено в Республике Карелии и в Ленинградской области (в том числе благодаря акваториям Ладожского и Онежского озер). В Западной и Восточной Европе средний коэффициент озерности составляет 1.2 и 1.6, в Южной Европе – чуть <1%. В центре и на юге ЕЧР благодаря прежде всего искусственным водоемам коэффициент озерности выше – соответственно 1.7 и 2.1%. Коэффициент естественной озерности (не учитывающий площади водохранилищ) во всех перечисленных районах ≤1%. Его самые низкие значения отмечаются в центре ЕЧР (в среднем 0.17%), меняются по территориям Центрального и Приволжского ФО от <0.01% (Орловская, Белгородская и Тульская области) до 1.37% (Тверская область). Среди стран зарубежной Европы естественная озерность ≤0.1% только в Чехии, Словакии и Испании, а также во всех малых государствах Европы, где она снижается до тысячных долей процента.

Анализ изменения коэффициента озерности по территории свидетельствует об отсутствии его четкой зависимости от степени континентальности климата или от географической широты местности (даже если рассматривать только есте-

ственную озерность). Как указано в [5], значения озерности в большей степени обуславливаются геологическими факторами, нежели климатическими, при этом определяющий фактор – геологическая история территории. На территориях как ЕЧР, так и зарубежной Европы повышенная озерность наблюдается прежде всего в регионах, относительно недавно (по геологическим меркам) освободившихся от ледникового покрова или морских вод. При этом внутри этих регионов изменения коэффициента озерности обуславливаются уже различиями форм рельефа. За счет строительства искусственных водоемов озерность на большей части Европы существенно увеличена. Наибольшее увеличение озерности отмечено в центре и на юге ЕЧР, для ряда областей ЕЧР – на два порядка (Тульская, Орловская, Белгородская, Саратовская, Ульяновская области, Пермский край, Республики Чувашия, Адыгея, Северная Осетия). По странам Европы увеличению озерности за счет строительства искусственных водоемов – в пределах одного порядка (Чехия, Словакия, Молдова, Испания, Сербия).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ фонда естественных и искусственных водоемов Европы свидетельствует о том, что для ЕЧР характерна большая пространственная неоднородность распределения озер, чем для зарубежной Европы, причем в большинстве стран Южной Европы суммарные водные ресурсы озер достаточно высоки. За счет искусственных водоемов суммарные запасы вод в ЕЧР увеличены в ~1.2 раза, а в зарубежной Европе в 1.1 раза. Несмотря на высокие суммарные показатели озерного фонда ЕЧР, ситуация с водными ресурсами на ее обширной территории немногим более благоприятная, чем в ряде стран Европы.

Наличие значительных проблем с водообеспечением в центре и на юге ЕЧР и сопоставимость по регионам ЕЧР и странам Европы удельной водообеспеченности, рассчитанной как по данным о речном стоке [23], так и по запасам вод (в настоящей статье), содержащихся в естественных и искусственных водоемах, свидетельствуют о рациональности рассмотрения богатых озерных водных ресурсов северной части ЕЧР прежде всего в свете их возможного использования для обеспечения внутренних потребностей страны.

Необходимо уточнить, что в рамках статьи рассматриваются осредненные за определенный интервал времени площади озер и водохранилищ (массив “Water Mask” содержит данные, обработанные с начала 2000-х гг.). При переходе к объемным характеристикам фонда для морфометрически изученных озер также использовались опубликованные осредненные данные по объемам воды, а для водохранилищ – объемы вод при

НПУ. В то же время для значительного количества водоемов (как естественных, так и искусственных) характерна изменчивость площадей зеркала как во внутригодовом, так и в многолетнем разрезе, что, соответственно, влечет за собой и некоторые изменения объемов содержащихся в них вод. Изменчивость наиболее выражена в зоне неустойчивого и недостаточного увлажнения, т. е. в районах с наибольшими проблемами с водообеспеченностью. Анализ возможных изменений запасов вод в разные по водности периоды представляет отдельную задачу, и его проведение планируется как продолжение настоящей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
2. Измайлова А.В. Водные ресурсы озер Российской Федерации // География и природ. ресурсы. 2016. № 4. С. 5–14.
3. Измайлова А.В. Озера России: закономерности распределения, ресурсный потенциал. СПб.: Папирус, 2018. 288 с.
4. Измайлова А.В. Озерные водные ресурсы европейской части Российской Федерации // Вод. ресурсы. 2016. Т. 43. № 2. С. 122–133.
5. Измайлова А.В., Корнеевкова Н.Ю. Озерность Российской Федерации и определяющие ее факторы // Вод. ресурсы. 2020. Т. 47. № 1. С. 16–25.
6. Корнеевкова Н.Ю., Измайлова А.В. Использование космической информации при оценке морфометрических характеристик озер и построении карт озерности и густоты озерной сети // Регион. экология. 2019. № 2(56). С. 43–50.
7. Кочков Н.В., Рянжин С.В. Методика оценки морфометрических характеристик озер с использованием спутниковой информации // Вод. ресурсы. 2016. Т. 43. № 1. С. 18.
8. Кочков Н.В., Рянжин С.В. Озера мира WORLDLAKE. Свид. о гос. регистрации базы данных № 2015621549.
9. Лосев К.С. Вода. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 272 с.
10. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
11. Постановление Госстандарта России от 14.12.2001 № 529-ст “О принятии и введении в действие Общероссийского классификатора стран мира”. Дата введения 01.07.2002. Ред. 29.05.2019.
12. Румянцев В.А., Коронкевич Н.И., Измайлова А.В., Георгиади А.Г., Зайцева И.С., Барбанова Е.А., Долгов С.В., Корнеевкова 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.
13. 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 abun-

- dance and size distribution of lakes, ponds and impoundments // *Limnol. Oceanograph.* 2006. V. 51. P. 2388–2397.
14. *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., Townshend J.R.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science.* 2013. V. 342. № 6160. P. 850–853.
 15. *Lehner B., Doll P.* Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands // *J. Hydrol.* 2004. V. 296. P. 1–22.
 16. *Meybeck M.* Global distribution of lakes // *Physics and Chemistry of Lakes.* Berlin, Heidelberg, 1995. P. 1–36.
 17. *Nace R.L.* World water inventory and control / Ed. *R.J. Chorley* // *Water, Earth and Man.* London, 1969. P. 31–42.
 18. *Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S.* High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // *Nature.* 2016. № 540 (7633). P. 418–422.
 19. *Ryanzhin S.V.* Global Statistics for surface area and water storage of natural world lakes // *Verhein Int. Verhein Limnol.* 2006. V. 29. № 2. P. 640–645.
 20. *Tamrazyan G.P.* Total lake water resources of the planet // *Bull. Geolog. Soc. Finland.* 1974. V. 46. № 1. P. 23–27.
 21. *Verpoorter Ch., Kutser T., Seekell D.A., Tranvik L.J.* A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery // *Geophys. Res. Lett.* 2014. V. 41 (18). P. 6396–6402.
 22. *Wetzel R.G.* *Limnology.* Philadelphia: Saunders College Publ., 1983. 860 p.
 23. *World Water Resources at the Beginning of 21st Century* / Ed. *I.A. Shiklomanov, J.C. Rodda.* Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2003. 450 p.