

УДК 556:681.3

© И.Ю. Каторгин, К.Ю. Шкарлет, А.Н. Роман

*И.Ю. Каторгин, К.Ю. Шкарлет, А.Н. Роман*

# ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОЗЕРНОЙ СЕТИ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ С ПОМОЩЬЮ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ



## Материал и методы

Изменения климата в XX-XXI вв. на северном макросклоне Большого Кавказа нашло выражение в сокращении площадей оледенения [1] и увеличении числа озер. Размеры озер и объем воды в озерах постоянно изменяются, исторические данные зачастую не описывают реальные гидрологические характеристики озер [7]. Тем не менее анализ озерных сетей, их сопряженности с ландшафтной структурой – интересное направление лимнологии и гидрологии [13]. В исследовании озер часто применяется бассейновый принцип, и данные по количеству и морфометрическим показателям приводятся по речным бассейнам, которые могут административно находиться в разных субъектах РФ, что может затруднять принятие управленческих решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций и в области развития территорий.

Карачаево-Черкесская Республика, расположенная на северном макросклоне Западного Кавказа, обладает значительными ресурсами поверхностных вод, в том числе большим количеством озер. Однако данные о количестве озер противоречивые. Создание геоинформационной системы по озерам Карачаево-Черкесской Республики позволит собирать данные воедино, в цифровом виде, что весьма удобно для их последующего использования, постоянного пополнения и корректирования баз данных, повысить качество и скорость обработки данных, вести трудоемкие процедуры пространственного анализа. Использование ГИС для анализа озерной территории при принятии решений по хозяйственному использованию широко используется [11, 12]. Кроме того, маленькие озера с площадью поверхности менее 1 км<sup>2</sup> зачастую выпадают из описаний в силу генерализации картографического материала. Однако они так же важны для экосистем, как объекты большей площади [9]. Для уточнения картографического материала принято использовать космоснимки различного разрешения. Наиболее используемыми являются космоснимки Landsat, Spot [10, 4].

В качестве картографической основы использованы карты масштаба 1:50 000 Госгисцентра. Для уточнения количества озер использовались снимки Spot 6-7 с пространственным разрешением 1,5 м. Векторизация водных объектов производилась в Mapinfo 12.0, расчет озерности, построение водосборных бассейнов и моделирование экспозиции склонов производились в ArcGIS 10.

## Структура ГИС

На основе обработки собранного материала с использованием ГИС-пакета Mapinfo были созданы графическая и атрибутивная базы данных. Информация структурирована по слоям и представлена в картографическом и табличном виде.

ГИС «Озера Карачаево-Черкесской республики» имеет следующую структуру:

### Основные блоки данных:

- базовый слой «Озера КЧР»;
- цифровая картографическая основа в масштабе 1:100 000;
- тематический блок.

*Базовый слой «Озера КЧР».* Слой содержит данные по озерам КЧР. Для исключения краевого эффекта при расчете озерности фильтрами радиусом 17,84 км векторизуются также озера на расстоянии до 18 км от границы республики (рис. 1). Таким образом, для территории КЧР было нанесено 660 озер.

Структура базы данных следующая:

- ID (идентификатор);
- Название озера по топографической карте м-ба 1:50 000;
- Название, данное по туристическим материалам (приводятся на туристических картах);
- Координаты X, Y;
- Высота уреза воды н.у.м.
- Административная приуроченность (муниципальный район);
- Приуроченность к крупной орографической единице (Главному, Боковому, Передовому,

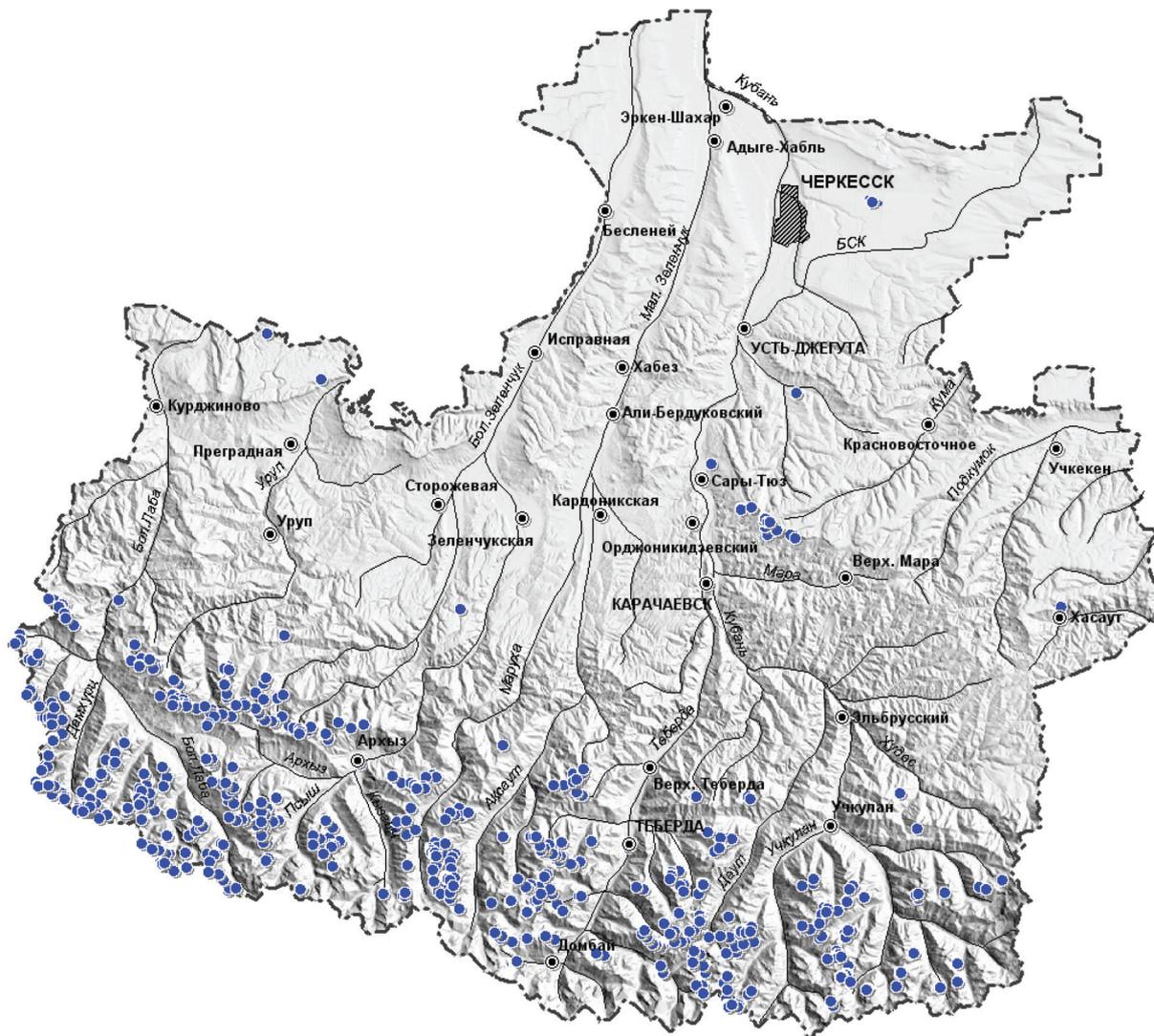


Рис. 1. Озера Карачаево-Черкесии, представленные на карте масштаба 1:50 000 (показаны синими точками)

- Скалистому, Пастбищному хребтам и Северо-Юрской депрессии);
- Экспозиция макросклона крупной орографической единицы;
- Приуроченность к речному бассейну 1-го порядка;
- Приуроченность к речному бассейну 2-го порядка (если существует);
- Приуроченность к речному бассейну 3-го порядка (если существует);
- Тип по происхождению;
- Площадь (м<sup>2</sup>);
- Периметр (м);
- Коэффициент извилистости.

*Цифровая картографическая основа.* Данная структурная единица ГИС была создана Роскартографией для Министерства регионального развития по топографическим картам масштаба 1:100 000 и

использовалась ООО НПО «Южный градостроительный центр» для создания схемы территориального планирования Республики [6]. Ее содержание составляют следующие слои:

- Границы Республики;
- Границы муниципальных районов;
- Растительность (лес, кустарники, луга);
- Гидрография (реки, пруды, колодцы);
- Рельеф (горизонталы, отметки высот);
- Рельеф (внемасштабные знаки);
- Дороги;
- Ледники;
- Населенные пункты.

*Тематический блок.* Содержит разнообразные тематические данные из Эколого-географического атласа Карачаево-Черкесской Республики (2002) [8]. Данные представлены картами масштаба 1:500 000, формат представления \*.JPG, карты привязаны

в проекции Гаусса-Крюгера, зона 37; система координат Пулково 1942.

### Моделирование и анализ озёрности

После создания ГИС был проведен пространственный анализ распределения озёр по территории республики в разрезе крупных орографических единиц, водосборных бассейнов, имеющих площадь более 100 км<sup>2</sup>, и показателя пространственного распределения в расчете на 1000 км<sup>2</sup> территории (расчет показателя проводился в ГИС-пакете ArcGIS с использованием модуля *Spatial Analyst* (вкладка *Плотность*) методом *Kernel Density*).

На территории Карачаево-Черкесской Республики выделяют крупные орографические единицы [3, 5] представленные с севера на юг Сычевско-Воровсколеским низкогорным массивом, Кубанской наклонной равниной, системой куэстовых хребтов, Северо-Юрской депрессией и системами хребтов осевой части Большого Кавказа.

Особенности распределения озерных водоемов по перечисленным выше орографическим единицам представлены в табл. 1.

Наибольшее количество озёр (65,7%, или 433 озера) находится в системе Бокового хребта, в процентном отношении к общей площади озёр республики они также занимают наибольшую площадь, составляющую 49,5%. На втором месте находится система Передового хребта с 131 озером (19,7% от общей площади). На территории остальных орографических единиц озёр немного или они отсутствуют (рис. 2).

Такое неравномерное распределение озёр по горным районам Большого Кавказа определяется четырьмя наиболее важными факторами: горными породами, развитием древнеледниковых форм рельефа, развитием современного оледенения и количеством осадков. Хребты осевой зоны находятся в более

благоприятных условиях увлажнения, чем остальные районы. Здесь повсеместно распространены цирки и кары, свободные ото льда и выработанные в твердых кристаллических породах, слабо подверженных разрушению. Особенно много таких свободных цирков и каров осталось от эпох похолодания на Боковом хребте (на Главном хребте оледенение более значительное).

Анализ распределения озёр (рис. 3) и коэффициента озёрности (рис. 4) в разрезе водосборных бассейнов показал достаточно неравномерное расположение озёр.

Наибольшее количество озёр приходится на бассейны притоков реки Теберды, находящихся в пределах Бокового хребта, и на бассейн реки Учкулан (Главный и Боковой хребты). Бассейны рек Дамхурц, Макера, Архыз, Псыш и верховья Урупа имеют на своей территории от 26 до 50 озёр. Остальные речные бассейны горной части Карачаево-Черкесии имеют меньшее количество озёр. В средне- и низкогорье количество озёр минимально, на территории многих речных бассейнов озёр нет.

Расчет показателя озёрности и построение соответствующих поверхностей проводились в ГИС-пакете ArcGIS с использованием модуля *Spatial Analyst* (вкладка *Плотность*) методом *Kernel Density*. Для расчета показателя в окрестности площадью 1000 км<sup>2</sup> нами был использован радиус построения 17,84 км ( $\pi \times 17,842 = 1000$ ). Поверхности имеют размер ячейки 100 м. В программе *Vertical Mapper* по поверхностям были построены контуры с заданными диапазонами (рис. 5, 6).

Наиболее высокие показатели озёрности со значениями более 3000 м<sup>2</sup> на 1000 км<sup>2</sup> находятся на западе республики, на Боковом хребте, в верховьях Урупа, Большой Лабы и левых притоков Большого Зеленчука, а также на востоке в верховьях Даута. Меньшее распространение озера имеют в бассейне

Таблица 1

Распределение озёр по крупным орографическим единицам

| Орографическая единица          | Количество озёр | Количество, % | Площадь озёр, м <sup>2</sup> | Площадь, % |
|---------------------------------|-----------------|---------------|------------------------------|------------|
| Сычевско-Воровсколесский массив | –               | –             | –                            | –          |
| Кубанская наклонная равнина     | 1               | 0,15          | 2 246 670                    | 23,33      |
| Лесистый хребет                 | –               | –             | –                            | –          |
| Пастбищный хребет               | –               | –             | –                            | –          |
| Скальный хребет                 | 23              | 3,49          | 111 910                      | 1,16       |
| Северо-Юрская депрессия         | 2               | 0,30          | 4310                         | 0,04       |
| Передовой хребет                | 131             | 19,88         | 1 893 400                    | 19,66      |
| Боковой хребет                  | 433             | 65,71         | 4 763 810                    | 49,47      |
| Главный Кавказский хребет       | 69              | 10,47         | 609 800                      | 6,33       |

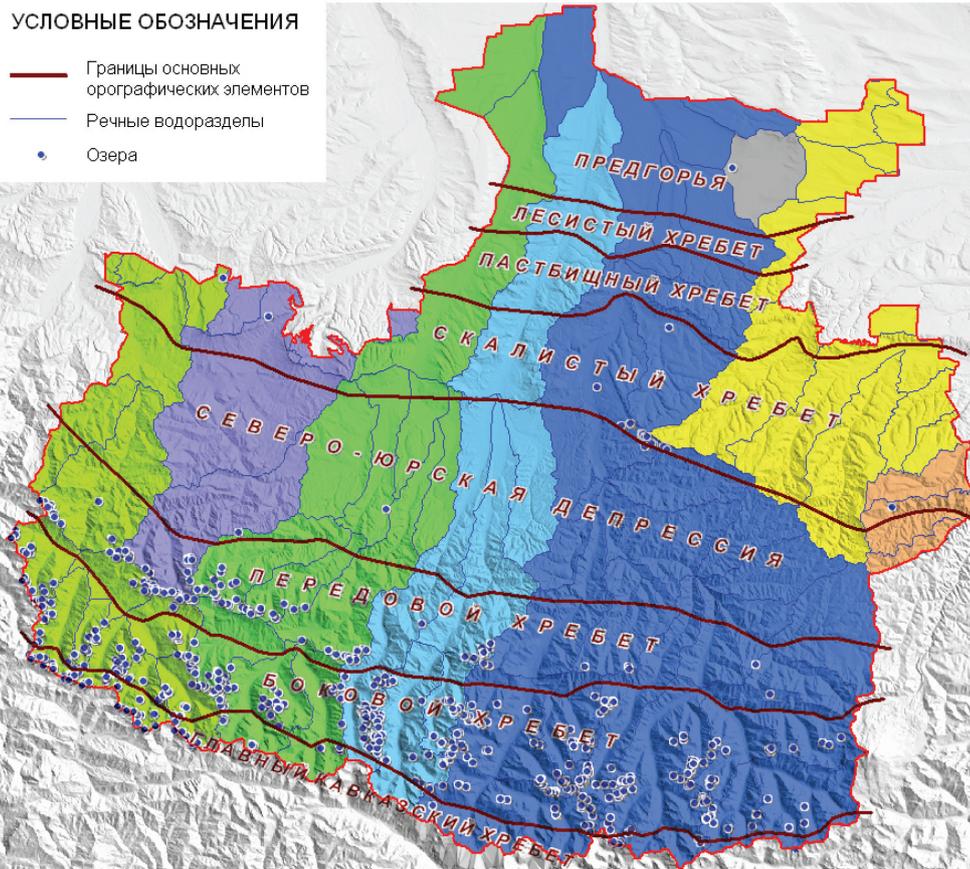


Рис. 2. Расположение озер на территории Карачаево-Черкесии по крупным орографическим элементам и водосборным бассейнам

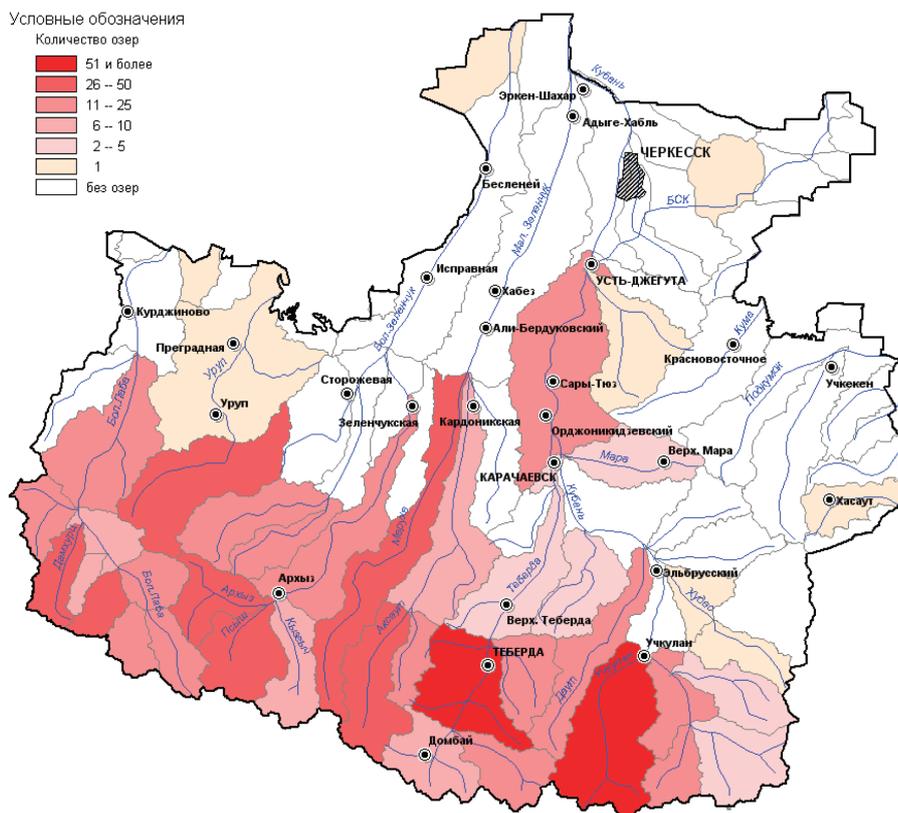


Рис. 3. Количество озер по водосборным бассейнам

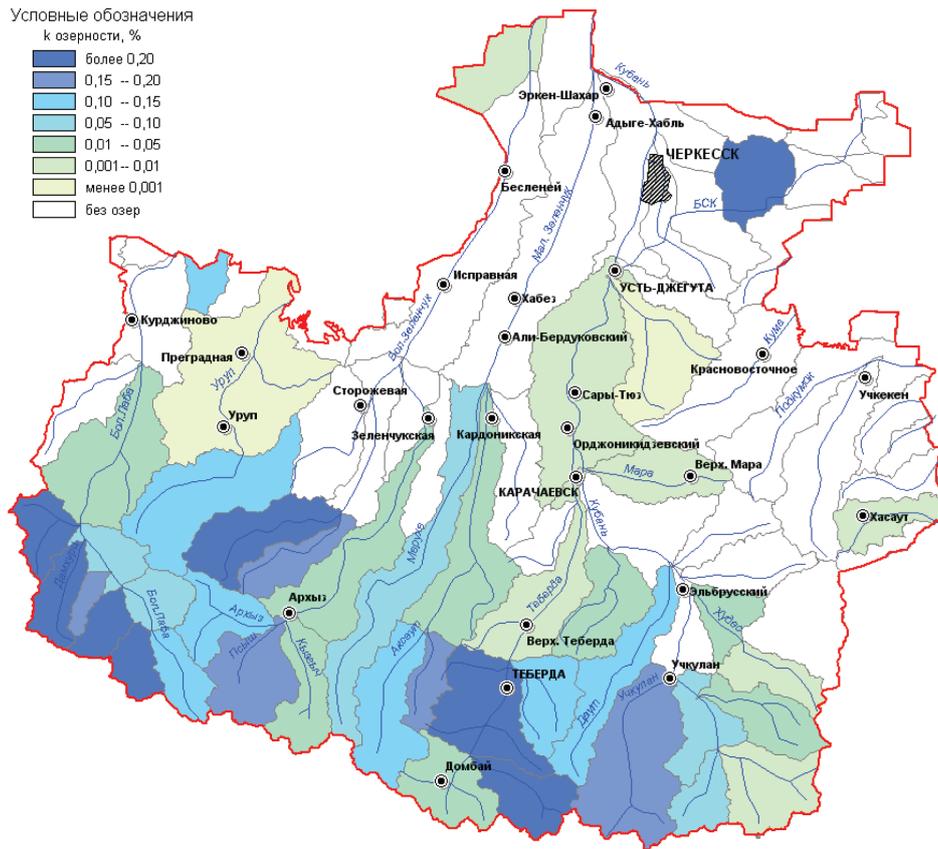


Рис. 4. Коэффициент озерности водосборных бассейнов

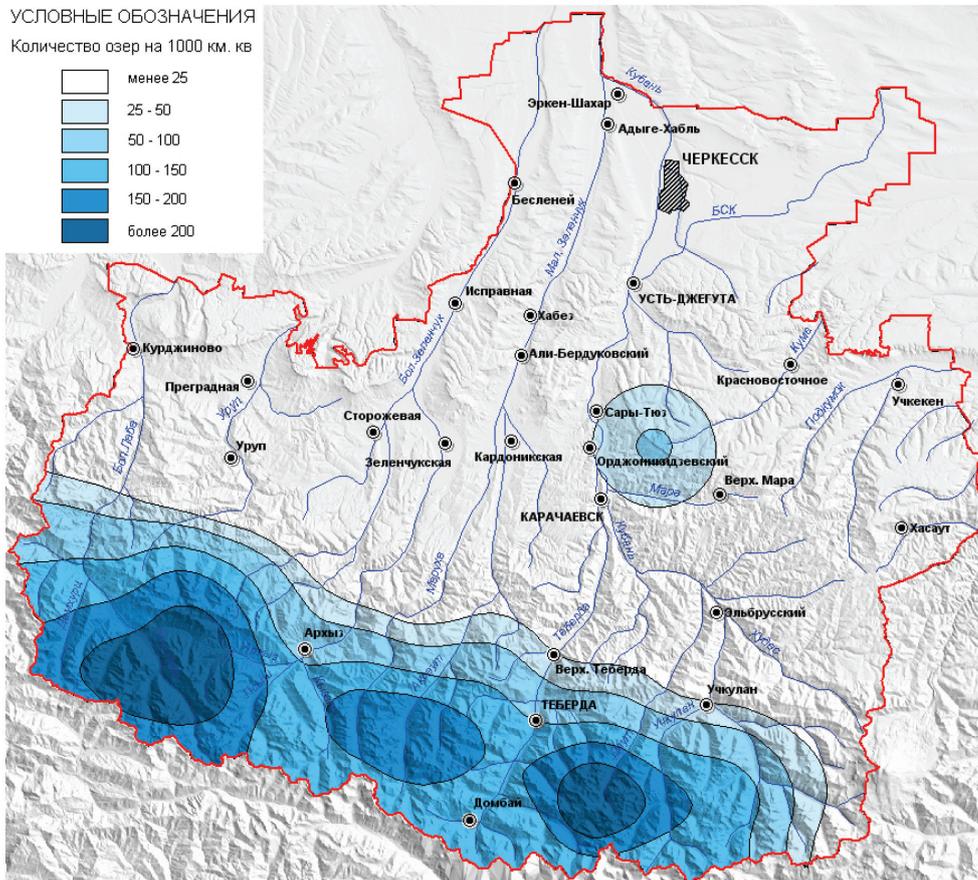


Рис. 5. Пространственное распределение озер по территории республики

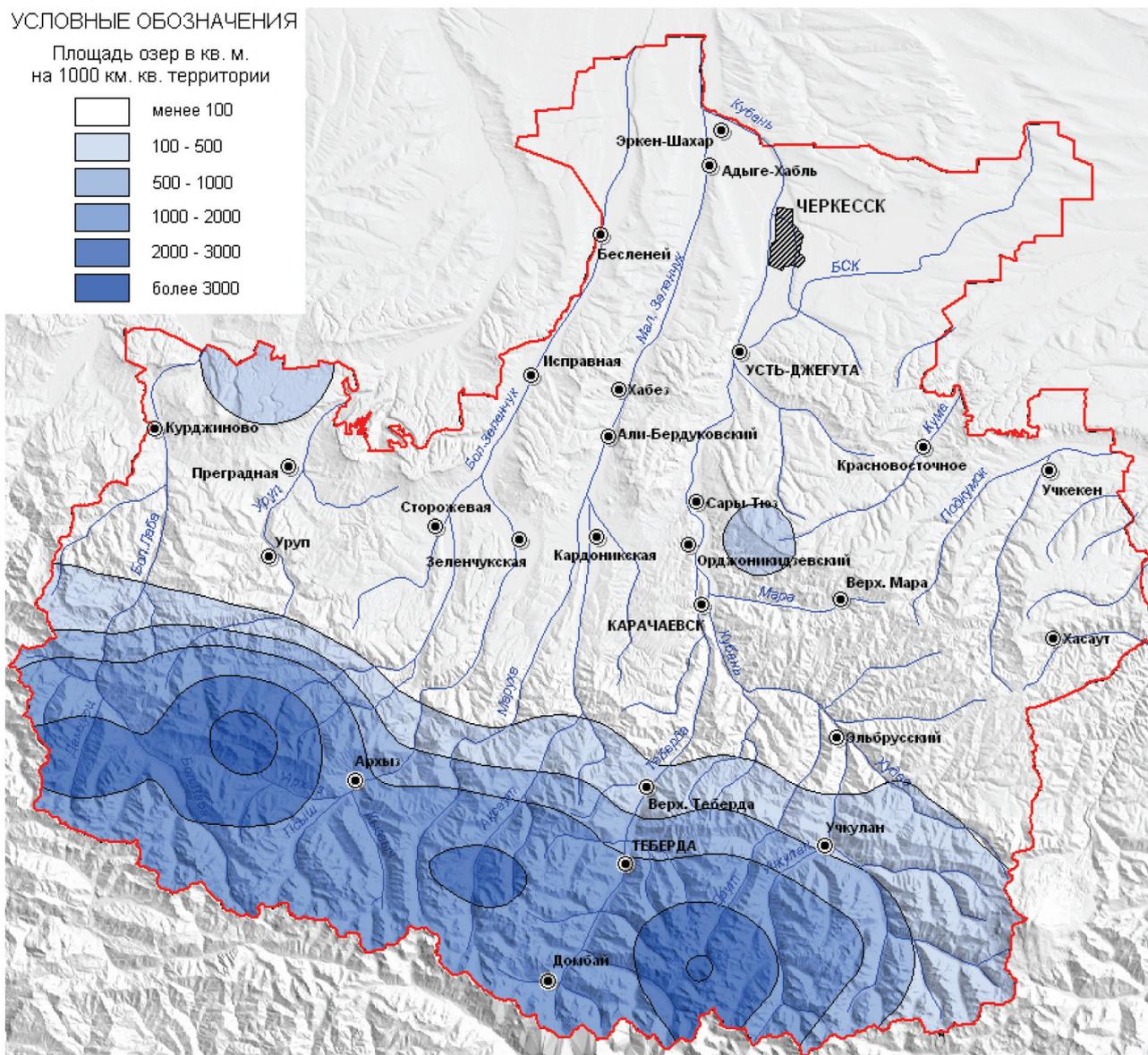


Рис. 6. Озерность территории республики в м<sup>2</sup> на 1000 км<sup>2</sup>

Теберды. К северу количество озер и озерность резко понижаются. Локальное повышение обоих показателей наблюдается на южном склоне Скалистого хребта в верховьях Кумы и Дзегуты.

**Анализ распределения озер по высотным интервалам и экспозиции склонов**

Интересной характеристикой является распределение озер по высотным интервалам (рис. 7).

Большинство показателей укладывается в диапазон 2260-3140 м н. у. м., за пределами диапазона показатели резко (в разы) снижаются. В данном диапазоне наблюдаются две группы «пиков» приходящиеся на высоты 2420-2600 м и 2740-2960 м н. у. м. Наиболее распространенной (модальной) ступенью, в пределах которой расположено 24 озера, является ступень 2940-2960 м. Подобное распределение озер

по высотам объясняется недавним возникновением озерных котловин во время начавшегося около 200 лет назад потепления после «Малого ледникового периода» [1]. На «высоких» ступенях, недавно освободившихся от ледников, наблюдается большее количество озерных котловин, еще не успевших заполниться твердыми осадками, в изобилии несомыми водными потоками и лавинами.

Анализ распределения озер по экспозиции склонов (рис. 8) дал вполне предсказуемые результаты – наибольшее количество озер расположено на менее прогреваемых северных и восточных склонах, особенно на склонах северо-восточной экспозиции.

**Ключевые слова:** озера, ГИС, коэффициент озерности, Карачаево-Черкесская Республика, районирование.

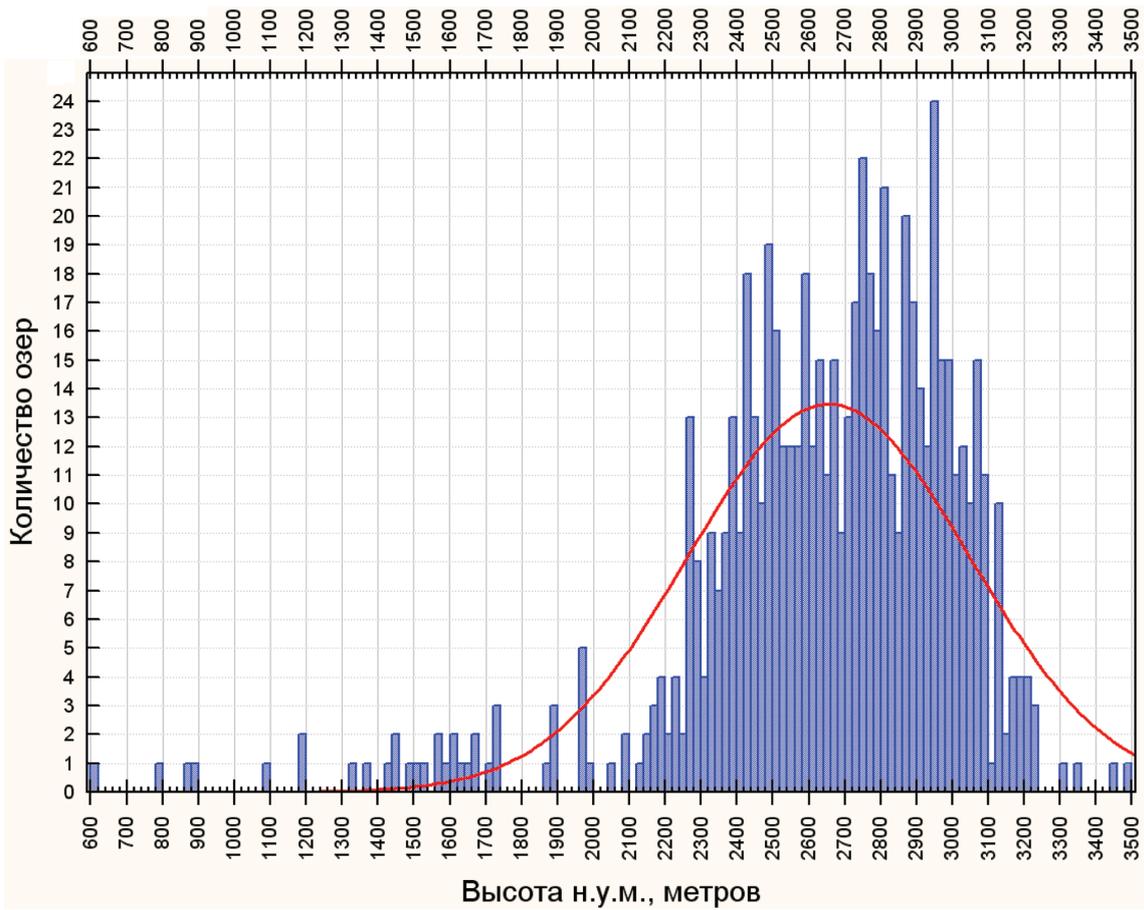


Рис. 7. Распределение озер республики по высотным ступеням

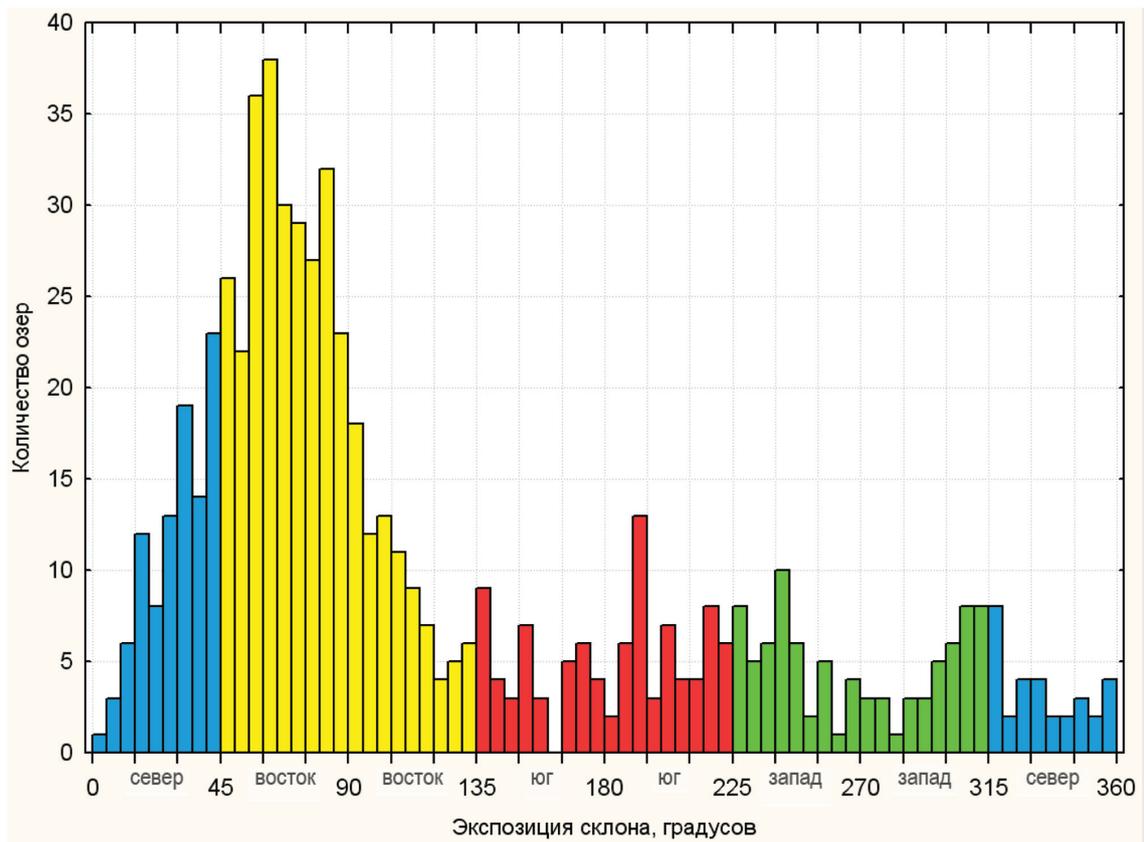


Рис. 8. Распределение озер республики по экспозиции склонов

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бушуева И.С. Колебания ледников на Центральном и Западном Кавказе по картографическим, историческим и биоиндикационным данным за последние 200 лет: автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.31 / Бушуева И.С. – М., 2013. – 24 с.
2. Ефремов Ю.В. Горные озера Западного Кавказа. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 112 с.
3. Ефремов Ю.В., Ильичев Ю.Г., Панов В.Д., Панова С.В., Погорелов А.В., Шереметьев В.М. Хребты Большого Кавказа и их влияние на климат. – Краснодар : Просвещение-Юг, 2001. – 145 с.
4. Кирпотин С.Н., Полнщук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – №. 311. – С. 185-189.
5. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей: монография / Ю.В. Ефремов, В.Д. Панов, П.М. Лурье, Ю. Г. Ильичев, С.В. Панова, Д.А. Лутков Краснодар : Кубан. гос. ун-т, 2007. – 338 с.
6. Схема территориального планирования Карачаево-Черкесской Республики : в 4 т. [Рукопись] / ООО НПО «Южный градостроительный центр». – Ростов-н/Д, 2008.
7. Черноморец С.С., Петраков Д.А., Крыленко И.В., Крыленко, Тутубалина О.В., Алейников А.А., Тарбеева А.М. Динамика ледниково-озерного комплекса Башкара и оценка селевой опасности в долине реки Адыл-Су (Кавказ) // Криосфера Земли, 2007. – Т. XI. – № 1. – С. 72-84.
8. Эколого-географический атлас Карачаево-Черкесской Республики. – Ростов н/Д : ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2002. – 66 с.
9. Downing J.A. et al. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments // Limnology and Oceanography. – 2006. – V. 51. – Is. 5. – P. 2388-2397.
10. Kloiber S. M., Brezonik P. L., Bauer M. E. Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity // Water Research. – 2002. – V. 36. – Is. 17. – С. 4330-4340.
11. Liu Y. et al. An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe // Landscape and urban planning. – 2007. – V. 82. – Is. 4. – P. 233-246.
12. Rebelo L.M., Finlayson C.M., Nagabhatla N. Remote sensing and GIS for wetland inventory, mapping and change analysis // Journal of environmental management. – 2009. – V. 90. – Issue 7. – P. 2144-2153.
13. Soranno P.A. et al. Spatial variation among lakes within landscapes: ecological organization along lake chains // Ecosystems. – 1999. – V. 2. –N 5. – P. 395-410.