

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ
Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ
Том 114

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY
Book 2 – GEOGRAPHY
Volume 114

ХИДРОГРАФСКО ОПИСАНИЕ НА ЕЗЕРАТА В СЕВЕРОЗАПАДНА РИЛА

АЛЕКСАНДЪР ВАСИЛЕВ, НЕЛИ ХРИСТОВА

*Катедра по климатология, хидрология и геоморфология
e-mail: nelly_hristova@gea.uni-sofia.bg*

*Alexander Vasilev, Nelly Hristova. HYDROGRAPHIC DESCRIPTION OF THE LAKES
IN NORTHWEST RILA MOUNTAIN*

The lakes are a typical landscape component of the alpine part of Rila Mountain. This work aims to describe the lake morphometry and spatial organization of the lakes into groups and lake systems in northwest Rila Mountain. Analysis of lake morphometry was done through Google Earth tools. Statistical analysis and correlation analysis were also applied. All 60 lakes in the northwest Rila Mountain are located above 2000 m. The lakes form 12 lake groups (consisting of two to ten lakes) and 11 lake systems (consisting of two to seven lakes). Most lake groups are in Musalenski ridge. The morphometric parameters vary widely, except for the shoreline development coefficient and the altitude. The work proves statistically significant relationships between area, length, width, and perimeter. The current study gives new morphometric data for high-mountain lakes in the northwest Rila Mountain.

Key words: lakes, lake morphometry, high-mountain lakes, Rila Mountain, Bulgaria

УВОД

Езерата са важен компонент на хидрографската мрежа на дадена територия, съставна част на природните ландшафти, сложни природни динамични лимно-системи, в които взаимодействат хидроложки, хидрофизични, хидрохимични, хидробиологични и хидродинамични процеси (Vaines et al. 2000, Caliman et al. 2010). Изучаването на високопланинските езера, и особено на морфометрич-

ните им показатели (площ, дължина и широчина на езерното водно огледало, дължина на бреговата линия и др.), е предпоставено от функциите им да влияят върху баланса на ледниковата маса (Benn et al. 2007, Röhl 2008, Logiaux & Casassa 2013, Carrivick et al. 2016, Miles et al. 2016, Carrivick et al. 2020 и др.), от свойствата им да бъдат индикатор към дългосрочни изменения на климата през последните десетилетия и за изменения в климатичните вариации в условията на природна среда без антропогенни въздействия – т. нар. отдалечени езера (Gardelle et al. 2011, Nie et al. 2013, Carrivick & Quincey 2014, Wang et al. 2014, Emmer et al. 2016, Mosquera et al. 2017, Shukla et al. 2018 и др.). Хидрографското описание на високопланинските езера от една страна се улеснява от съвременни инструменти (ГИС и др.) за наблюдения и измервания върху сателитни изображения, цифрови ортофото снимки, планове и карти и др., но от друга страна е ограничено от трудната достъпност на отделни езерни водоеми за теренни измервания, от необходимата апаратура и др.

В посочения по-горе контекст целта на настоящата работа е хидрографско описание на езерата в Северозападна Рила, което включва определяне на абсолютните и относителните морфометрични показатели, класифицирането на езерните водоеми по площ и форма, изследването на връзката и зависимостите между стойностите на морфометричните характеристики. Подобно проучване е предпоставено от липсата на целенасочени морфометрични проучвания на езерата в Рила планина след 50–60-те години на XX в. с малки изключения. След първите сведения за езерата в Рила планина от края на XIX в. и началото на XX в. (Цвийч 1897, Радев 1920, Вълканов 1932а, 1932б, 1938) и изследванията през 60–70-те години на миналия век от Воденичаров (1960, 1962), обобщени в „Езерата в България“ (1964), морфометрични данни през последните десетилетия публикуват Гачев и др. (2008), Gachev (2009), Александров и Стоянова (2014) за Мусаленски езера.

ИЗХОДНА ИНФОРМАЦИЯ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Изходна информация

Изходна информация за настоящото изследване са хидрографските данни за езерата в изследваната територия, получени чрез измервания върху сателитни изображения и теренни измервания. Площта на езерата, дължината и ширината на бреговата линия са определени чрез измервания с инструментите на програмата Google Earth (Google Earth Pro) върху закупени от тях сателитни изображения. Програмата е със свободен достъп, а използваните в изследването сателитни изображения са заснети през 2017 г. Програмата позволява да се измерват показатели като дължина, ширина, площ на езерата, надморска височина, географска ширина и дължина и да се сравняват сате-

литни изображения през различни години. Резолюцията на сателитните изображения не може да бъде определена с точност, тъй като за отделни периоди Google закупува снимки от различни частни компании. Месеците, през които са направени сателитните изображения, са юли и август 2017 г., от компанията CNES/Airbus, и са с достатъчно качество за определяне на морфометричните показатели на езерата. Теренните измервания на дължината на бреговата линия на Урдини езера е чрез часовник Polar V800 Javier Gomez Noya и са проведени през м. октомври 2019 г. Този часовник е оборудван с технология, позволяваща прецизно описание на маршрута, чертаене на полигони, измерване на географската ширина и дължина, надморска височина.

Методи на изследване

Първият етап на изследването в настоящата работа е описанието на езерните групи (група езера, разположени в границите на един циркус) по брой езера и брой езерни системи – езера, свързани помежду си чрез водни потоци. Към този етап се отнася и присвояване на имена на безименните езера и на езерните системи на основата на географски признаци – близост до планински връх, разположение в езерната група или в речен водосбор, и на основата на морфометрични показатели – площ в сравнение с останалите водоеми от езерната група. В основата на настоящото изследване е измерването и изчисляването на основните хидрографски характеристики. Чрез измервания върху сателитни изображения са определени географските координати, площта на водното огледало – F (ha, m²), дължината на езерото (L , m), широчина на езерото (B , m), дължина на бреговата линия (S , m). На основата на измерените морфометрични характеристики се изчисляват: средна ширина ($B_{ср}$) и коефициент на развитие на бреговата линия (K_S) (Hutchinson 1957 Wetzel & Likens 1991).

Класификацията на езерата е направена въз основа на праговите стойности на морфометричните показатели площ (F) – класификация по Захаренков (1964) и коефициент на развитие на бреговата линия (K_S) – класификация по Wetzel & Likens (1991).

Анализът на статистическите параметри на морфометричните показатели се основава на стандартните статистически инструменти за получаване на средна стойност (\bar{x}), медиана (M_e), стандартното отклонение (S) коефициенти на асиметрия (A_s), на ексцес (E_x) и на вариация (C_v). Честотното разпределение на морфометричните показатели на езерата в изследваната територия е в съответствие с броя класове и с интервала на класовете за всички езера в Рила планина, с цел съпоставимост при последващи лимнологични изследвания. Приложението на този статистически инструмент е насочено още за определяне на типа емпирично разпределение. За изследване на връзката между морфометрични параметри е приложен корелационен анализ. Степента на зависимост между морфометричните параметри се определя от

стойностите на корелационния коефициент, а неговата статистическа значимост е тествана при равнища на значимост (α) 0,01 и 0,05 (двустранен критерий) (Fundamentals of Statistical Hydrology 2017). Статистическата процедура включва и факторен анализ.

РЕЗУЛТАТИ

Географско описание на езерата в Северозападна Рила

Между изследваните 60 езера в Северозападна Рила най-южно разположено е ез. Додово ($42,1691^\circ$ с.ш.), най-северно – ез. Паничище ($42,2626^\circ$ с.ш), най-западно – ез. Малко Градинско ($23,2263^\circ$ и.д.), най-източно разположено – ез. Жълтия гьол ($23,2263^\circ$ и.д.).

Езерата в Северозападна Рила са неравномерно разпределени по планински дялове, по брой езера в езерна група и в езерна система. В Мальовишки дял на Северозападна Рила се намират 27 езера (45% от всички езера), в Дамгски дял – 10 езера (17%), в Кабулски дял – девет езера (15%), в Отовишки дял – осем езера (13%), в Калински дял – шест езера (10% от всички езера) (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Разпределение на езерата в Северозападна Рила по дялове, по брой езерни групи и езерни системи
Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by ridges, by number of lake groups and lake systems

Планински дял в Северозападна Рила	Брой езера	Брой езерни групи	Езерни системи
Мальовишки	27	6	7
Дамгски	10	2	1
Кабулски	9	1	1
Калински	6	1	1
Отовишки	8	2	1

Езерата в Северозападна Рила образуват 12 езерни групи, съставени от две до десет езера. Две езера образуват езерните групи Чанакгьолски и Градински, три езера – езерните групи Мальовишки, Маломальовишки, Лопушки, Еленски и Воденичарски, шест езера – езерна група Калински езера, седем езера – Седемте рилски езера, осем езера – езерна група Урдини езера, 10 езера – езерна група Горнопрекоречки езера. Най-голям брой езерни групи – шест, са разположени в Мальовишки дял на Северозападна Рила (табл. 1).

В тази част на изследваната територия се намират езерните групи Еленски, Мальовишки, Маломальовишки, Горнопрекоречки, Лопушки, Поповокапски, както и две самостоятелни езера – Йончево и Жълтия гьол. По две езерни групи се намират в дяловете Дамгски и Отовишки – съответно езерни групи Чанакгьолски, Урдини, Воденичарски и Градински. В Отовишки дял самостоятелни езера са Отовишко (Отовица) и Ашиklarско (Птичо). В Кабулски дял е езерната група Седемте Рилски езера и езерата Скакавишко и Паничище, а в Калински дял – езерната група Калински.

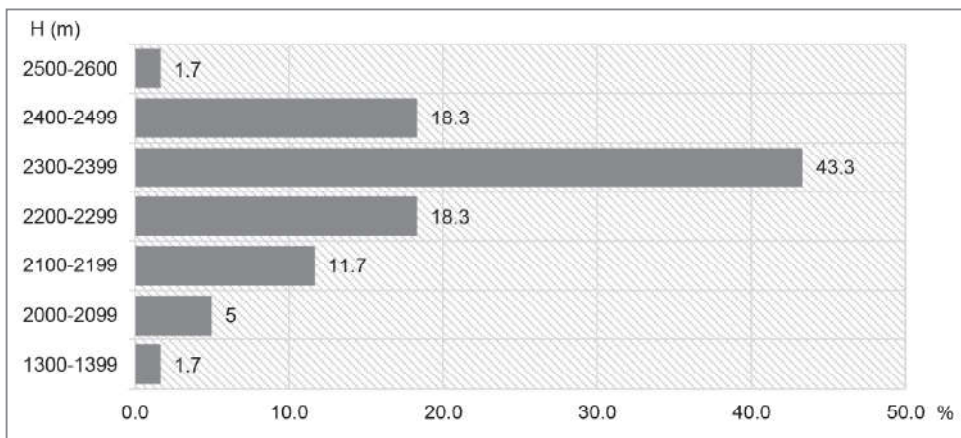
В Северозападна Рила се идентифицират 11 езерни системи, които включват между две и седем езера. Езерните групи Седемте рилски езера, Поповокапски, Маломальовишки и Мальовишки се явяват едновременно и езерни системи, защото езерата са свързани помежду си чрез водни потоци. В някои от останалите езерни групи се идентифицират по една езерна група и едно или повече самостоятелни езера. В езерна група Урдини се обособяват езерната система „Голяма Паница“, съставена от три езерни водоема, и пет самостоятелни езера. В езерна група Еленски две от езерата са свързани и образуват езерна система „Малки еленски езера“, а Голямо Еленско езеро не е свързано с останалите две. В езерна група Горнопрекоречки се идентифицират три езерни системи – „Ръждавишка“, „Дясно Горнопрекоречка“, съставена от три езера, и „Свински езера“, съставена от две езера, както и две самостоятелни езера. В езерна група Калински се установява една езерна система – „Карагьолска“, от две езера, останалите са самостоятелни езерни водоеми. Най-голям брой езерни системи се откриват в Мальовишки дял на Северозападна Рила – „Поповокапска“, „Маломальовишка“, „Мальовишка“, „Малки еленски езера“, „Ръждавишка“, „Дясно Горнопрекоречка“ и „Свински езера“. В Отовишки дял е развита езерната система „Воденичарска“, в Дамгски дял – „Голяма Паница“, в Калински дял – езерната система „Калинска“.

В границите на Северозападна Рила са присвоени имена на следните езерни водоеми: ез. Додово (по името на в. Додов) и ез. Високо Урдино (по разположението му спрямо останалите езера) от езерна група Урдини; ез. Малко Еленско от езерна група Еленски; ез. Прекорецко (по името на в. Прекорец) и ез. Малко Свинско (по размера на площта в сравнение със Свинско езеро) от езерна група Горнопрекоречки.

Всички езера в Северозападна Рила са разположени над 2000 m, с изключение на ез. Паничище (1380 m). Най-ниско разположено от останалите езера, на 2030 m, е ез. Свинско от групата Свински езера, а най-високо разположено – 2533 m, ез. Сълзата от Седемте рилски езера. Височинното разположение на езерните водоеми дава основание да бъдат означени като високопланински тип или като алпийски езера (синоним на „високопланински езера“, отнасящ се до езера, разположени във или над алпийската зона според височинното геоботаническо зонирание. Разположението на езерата в Северозападна Рила над 2000 m е индикатор за някои техни общи характеристики – млади по възраст

лимносистеми (Hutchinson 1957) със студени води и олиготрофна водна среда (Catalan et al. 2013).

Най-голям брой езера в Северозападна Рила – 26 (43,3% от всички езерни водоеми) е съсредоточен между 2300 и 2400 m, еднакъв брой – по 11 езерни водоема (18,3%) във височинните зони 2200–2300 m и 2400–2500 m (фиг. 1).



Фиг. 1. Разпределение на езерата в Северозападна Рила по надморска височина
Fig. 1. Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by altitude

Разпределението на броя на езерата по надморска височина се отклонява от разпределението на площта на височинните пояси. Докато общата площ на планинските дялове намалява с увеличаване на надморската височина, броят на езерата достига на-голяма стойност около 2400 m. Причината за посочената особеност е свързана с контрола на ледниковата динамика върху повечето от изследваните езера и хипсометрията.

Средната надморска височина на езерата в Северозападна Рила е 2304,8 m, а при изключване от статистическия ред на най-ниско разположеното езеро – 2320,5 m. Съсредоточаването на най-голям брой езера във височинната зона 2300–2400 m, както и разпределението на езерата по височинни зони в цялата изследвана територия, се запазва по планинските дялове на Северозападна Рила (табл. 2). Изключение е Кабулски дял на Северозападна Рила, в който езерата са равномерно разпределени на надморска височина.

Таблица 2

Table 2

Разпределение на езерата в Северозападна Рила по дялове и надморска височина
Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by ridges and altitude

Планински дял	Височинна зона (m)							Общо
	1300– 1399	2000– 2099	2100– 2199	2200– 2299	2300– 2399	2400– 2499	2500– 2600	
Мальовишки		2	5	3	11	6		27
Дамгски				3	5	2		10
Кабулски	1	1	2	2	1	1	1	9
Калински					4	2		6
Отовишки				3	5			8
Общо	1	3	7	11	26	11	1	60

Най-големи хипсометрични различия в разположението на езерата – между най-ниско и най-високо разположеното, се установяват в Дамгски дял на Северозападна Рила, а най-малки – в дяловете Калински и Отовишки. В Дамгски дял най-ниско разположено е ез. Паничище (1381 m), а най-високо разположено – ез. Сълзата (2533 m), а в Калински дял най-ниско разположено е яз. „Калин“ (2364 m), а най-високо разположено – ез. Трето Калинско (2480 m). В Отовишки дял най-ниско разположено е ез. Ашиklarско (2216 m), а най-високо разположено – ез. Горно (голямо) Воденичарско (2372 m). В Мальовишки дял на Северозападна Рила най-ниско разположено е ез. Свинско (2080 m), а най-високо разположено – ез. Малко Еленско (2468 m).

Морфометрични характеристики на езерата в Северозападна Рила

Езерата в Северозападна Рила имат площ (F) на водното огледало между 0,073 ha – ез. Четвърто Горнопрекоречко и 9,49 ha – ез. Бъбрека, при средна стойност 1,59 ha (табл. 3).

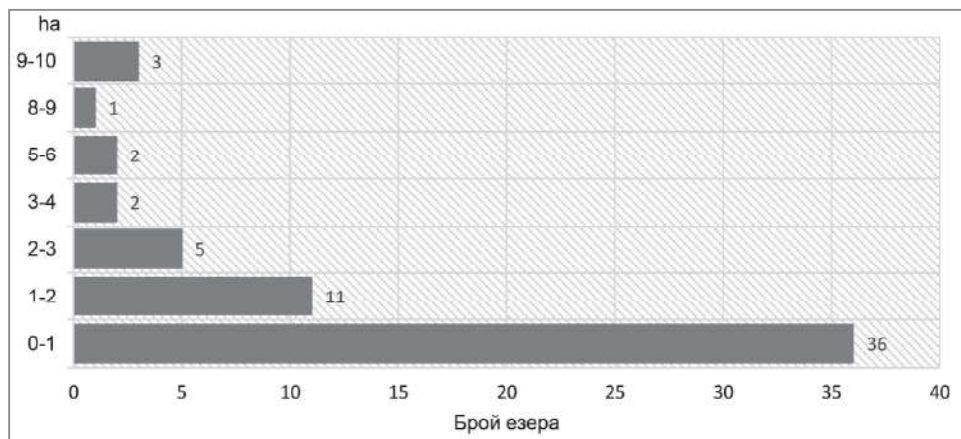
Таблица 3

Table 3

Описателна статистика на морфометричните показатели на езерата в Северозападна Рила
Statistics of the morphometric variables of the lakes in Northwest Rila Mountain

Статистически показател	Морфометричен показател					
	F (ha)	L (m)	B		Брегова линия	
			B (m)	B_{cp}	S	K_s
\bar{x}	1,59	154,6	103,0	68,9	524,4	1,49
M_e	0,69	123,0	80,0	52,9	414,0	1,44
σ	2,39	114,0	73,4	51,1	386,5	0,27
A_s	5,15	4,30	1,98	1,60	5,96	2,16
E_x	2,41	1,90	1,45	1,44	2,15	1,16
C_v	1,50	0,73	0,71	0,74	0,73	0,18

Честотното разпределение на езерата в Северозападна Рила по площ показва значима неравномерност в разпределение по този морфометричен показател – 60% от езерата имат площ под 1,0 ha и между две и три езера с площ над 3,0 ha (фиг. 2).



Фиг. 2. Разпределение на езерата в Северозападна Рила по площ
Fig. 2. Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by area

Всички езера, по праговите стойности за класификация на езерата по площ, предложена от Захаренков (1964), се отнасят към групата на „много малки по площ“ (0,1–1,0 km²). Площта на езерата в Северозападна Рила е с най-големи различия (разсейване) в сравнение с останалите морфометрични показатели – коефициентът на вариация (C_v) е 1,50 и е косвено свидетелство за вариации в геоморфоложките процеси, които конфигурират езерните водоеми.

При сравняване на данните за площта на езерата, получени при настоящото изследване, с данните за 44 езерни водоема, публикувани в „Езерата в България“ (1964), се регистрира както намаляване, така и увеличаване на размера на езерното водно огледало. Установените различия варират от 0,1% до 10% и могат да се интерпретират като следствие от времето и начините на измерване на площта в направените проучвания на езерната морфометрия. Изключение от констатирания факт е размерът на язовирите „Калин“ и „Карагьол“, при които площта на водното огледало е по-голяма в сравнение с площта им преди превръщането им в изкуствени водни обекти.

Разпределението на езерата в Северозападна Рила по площ и надморска височина е неравномерно (табл. 4). Най-голям брой езера – 16 (26,6% от всички езера) с площ под 1,0 ha, са съсредоточени във височинната зона 2300–2399 m и около два пъти по-малко на брой езера във височинните зони 2200–2299 m и 2400–2499 m (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Разпределение на езерата в Северозападна Рила по надморска височина и площ
Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by altitude and area

F (ha)	Височинна зона						
	1300–1399	2000–2099	2100–2199	2200–2299	2300–2399	2400–2499	2500–2600
0,0–1,0		1	5	6	16	7	1
1,1–2,0	1	1		1	5	3	–
2,1–3,0	–	–	1	2	2		–
3,1–4,0	–	–	1	1	–	–	–
4,1–5,0	–	–	–	–	–		–
5,1–6,0	–	1	–	–	–	1	–
6,1–7,0	–	–	–	–	–	–	–
7,1–8,0	–	–	–	–	–	–	–
8,1–9,0	–	–	–	1	–	–	–
9,1–10,0	–	–	–		3	–	–

Езерата с площ под 1,0 ha преобладават във всички планински дялове на Северозападна Рила, при най-голям брой от тях в Мусаленски дял и при сравнително равномерно разпределение в останалите планински дялове – между един и четири езерни водоема (табл. 5). Най-големите по площ езера са развити в планинските дялове Кабулски и Калински, но езерата в Калински дял с площ над 8,0 ha увеличават размерите си след антропогенна намеса и превръщането им в изкуствени водоеми. Полученият резултат е сходен с проучванията на Hanson et al. (2007), Seekell & Pace, (2011), Seekell et al., (2013), които установяват, че вероятността за образуване на големи (ледникови) езера по площ над определена надморска височина намалява.

Таблица 5

Table 5

Разпределение на езерата в Северозападна Рила по дялове и площ
Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by ridges and area

Планински дял	Площ (m ²)									
	0,0–1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–4,0	4,1–5,0	5,1–6,0	6,1–7,0	7,1–8,0	8,1–9,0	9,1–10,0
Мальовишки	22	4	1	–	–	–	–	–	–	–
Дамгски	4	3	2	–	–	–	–	–	–	–
Кабулски	2	1	1	–	–	2	–	–	1	1
Калински	3	1	–	–	–	–	–	–	–	2
Отовишки	5	2	1	–	–	–	–	–	–	–

Дължината на водното огледало (L) на езерата в Северозападна Рила е между 37,0 m (ез. Четвърто Горнопрекоречко) и 2245,0 m (ез. Близнака) при средна стойност 154 m (табл. 3). Преобладават езера с дължина на водната по-

върхност между 30,0 m и 99,0 m (38,3% от езерата в изследваната територия) и 100,0 m и 199,0 m (40,0% от всички езера). Седем езерни водоема (11,7%) имат дължина между 200 m и 299 m, две езера (3,3%) – дължина от 200 m до 399 m, три езера (5,0%) – дължина между 400 m и 499 m и едно езеро е с дължина на водното огледало в границите 600–700 m. Честотното разпределение на езерата по този морфометричен показател, както и статическите параметри коефициент на асиметрия (A_s) и коефициент на ексцес (E_x) показват отклонение от нормалното разпределение (подобно на разпределението на площта на езерата), но ясно изразено логнормално разпределение, което се доказва от Q-Q графиките.

Най-много езера с дължина 0–99 m и 100–199 m са развити във височинната зона 2300–2900 m (табл. 6).

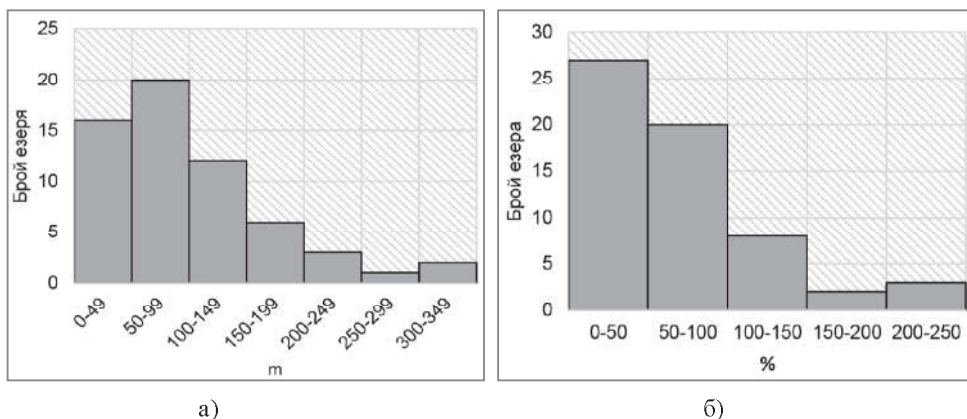
Таблица 6

Table 6

Разпределение на езерата в Северозападна Рила по надморска височина и дължина
Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by altitude and length

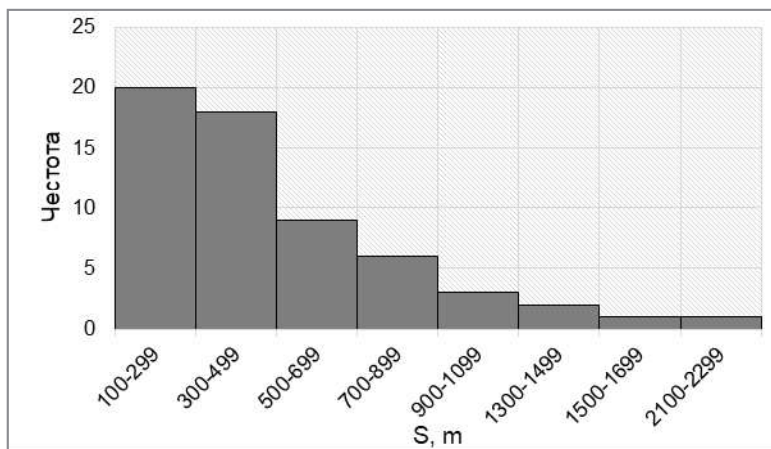
L (m)	Височинна зона						
	1300–1399	2000–2099	2100–2199	2200–2299	2300–2399	2400–2499	2500–2600
0–99	–	1	5	3	8	6	–
100–199	1	1	1	4	13	3	1
200–299	–	–	1	3	2	1	–
300–399	–	1	–	–	–	1	–
400–499	–	3	–	–	–	–	–
600–700	–	–	–	1	–	–	–

Широчината на езерата (B) в Северозападна Рила варира между 26 m (ез. Прекорещко) и 346 m (яз. „Калин“) при средна стойност 103 m (табл. 3). При изключване на двата язовира от анализа, поради антропогенната им модификация, с най-голяма широчина е ез. Бъбрека – 205,5 m. Честотното разпределение по този морфометричен показател, както и по средна широчина (B_{cp}), показва групиране на езерните водоеми в първите два класа (фиг. 3). Не се установяват географски закономерности в изменението на широчината (B) и средната широчина (B_{cp}) на езерата с увеличаване на надморската височина, както и в разпределението по планински дялове на Северозападна Рила.



Фиг. 3. Разпределение на езерата в Северозападна Рила по: а) широчина; б) ср. широчина
 Fig. 3. Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by a) width; b) average width

Дължината на бреговата линия (S) на езерата в Северозападна Рила е в границите 155 m (ез. Високо Урдино) и 2215 m (ез. Близнака) при средна стойност 524,4 m (табл. 3). Честотното разпределение показва съсредоточаване на най-голям брой езера в интервалите 100–299 m (20 езерни водоема – 33,3%) и 300–499 m (18 езерни водоема – 30,0%) или малко повече от половината от всички изследвани езера (фиг. 4).



Фиг. 4. Разпределение на езерата в Северозападна Рила по периметър (S)
 Fig. 4. Lakes-distribution in Northwest Rila Mountain by perimeter (S)

Дължината на бреговата линия се увеличава с нарастване на размера на езерната водна повърхност (табл. 7).

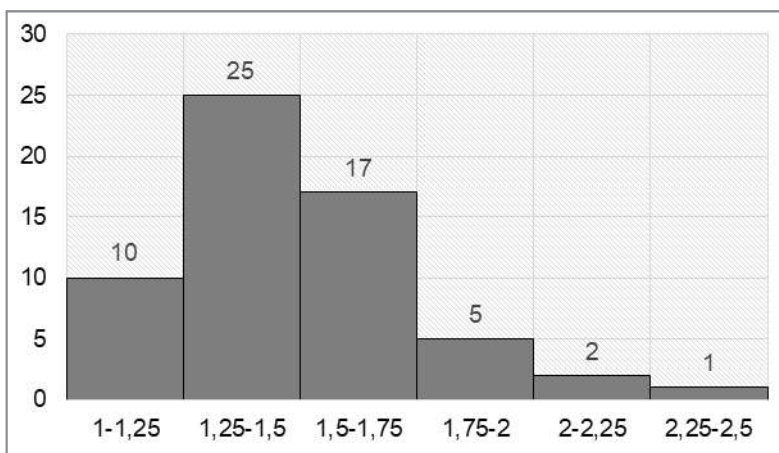
Таблица 7

Table 7

Разпределение на езерата в Северозападна Рила по площ и периметър
Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by area and perimeter

F (ha)	Дължината на бреговата линия (m)							
	100–299	300–499	500–699	700–899	900–1099	1300–1499	1500–1699	2100–2299
0,0–1,0	20	14	1	1	–	–	–	–
1,1–2,0	1	4	6	1	–	–	1	–
2,1–3,0	–	–	2	3	–	–	–	–
3,1–4,0	–	–	–	1	–	–	–	–
4,1–5,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5,1–6,0	–	–	–	–	–	–	–	–
6,1–7,0	–	–	–	–	–	–	–	–
7,1–8,0	–	–	–	–	–	–	–	–
8,1–9,0	–	–	–	–	–	–	–	1
9,1–10,0	–	–	–	–	–	1	1	–

Коефициентът на развитие на бреговата линия (K_s) на езерата в Северозападна Рила е между 1,07 (ез. Малката Паница) и 2,44 (ез. Голямо Калинско) при средна стойност 1,49 (табл. 3). С най-ниски стойности на K_s , или с почти кръгла форма, са езерата Голямата Паница ($K_s = 1,08$), Сухо Урдино ($K_s = 1,10$) и Йончево ($K_s = 1,10$). С форма, близка до кръглата (K_s между 1,0 и 1,25), и слабо разчленена брегова линия са 10 езера (16,7% от всички изследвани езерни водоеми). Кръглата или близката до кръгла форма на езерата се обяснява с ледниковия им произход и по-скоро с разположението им в циркуси. Най-голям е броят на езерата – 25 (41,7%), с коефициент на развитие на бреговата линия между 1,25 и 1,50 (фиг. 5). Полученият резултат не съответства на данните за честотното разпределение на този показател за езерата в Рила планина, където 90% от езерата имат K_s до 1,50 (Езерата в България 1964).



Фиг. 5. Разпределение на езерата в Северозападна Рила по коефициент на развитие на бреговата линия (K_s)

Fig. 5. Distribution of the lakes in Northwest Rila Mountain by shoreline development (K_s)

С неправилна форма, или с K_s над 2,0, и със средно разчленена брегова линия в Северозападна Рила са езерата Близнака ($K_s = 2,08$), Трето Средно Воденичарско ($K_s = 2,19$) и Голямо Калинско ($K_s = 2,44$). В данните, публикувани в „Езерата в България“ (1964), не се открива информация за коефициент на развитие на бреговата линия над 2,00. Възможна причина е разликата в измерванията на площта и дължината на езерното водно огледало на посочените по-горе три езера.

Зависимости между морфометрични характеристики на езерата в Северозападна Рила

Резултатите от приложените факторен, регресионен и корелационен анализ дават основание да се търсят зависимости между следните морфометрични показатели: площ (F), дължина (L), широчина – максимална (B) и средна (B_{cp}), дължина на бреговата линия (S) и коефициент на развитие на бреговата линия (K_s). Статистическият тест Kaiser-Meyer-Olkin (КМО) е 0,72 ($>0,50$) и доказва адекватност на изходните данни, а Bartlett's Test е 0,00 ($<0,001$), т.е. морфометричните показатели са достатъчно силно корелирани. Двата статистически теста дават основание за прилагане на факторния анализ. Последващите статистически процедури показват, че разпределението на дисперсията между изследваните морфометрични показатели откроява площта на езерната водна повърхност като основен, главен фактор за останалите измерени и изчислени показатели (собственото значение, т.нар. *eigenvalue*, е 4,743, по-голямо от 1,00). Получената компонентна матрица поставя в един клъстер площта

(F), дължината (L), широчината – максимална (B) и средна (B_{cp}), и дължината на бреговата линия (S).

Резултатите от корелационния анализ показват статистически значими (при α 0,01 и 0,05) силни корелационни зависимости ($R > 0,70$) между следните морфометрични параметри: площ (F) и дължина (L), площ и широчина (B), площ и дължина на бреговата линия (S), дължина (L) и широчина (B), дължина на езерото (L) и дължина на бреговата линия (S), широчина (B) на водното огледало и дължина на бреговата линия (S) (табл. 8).

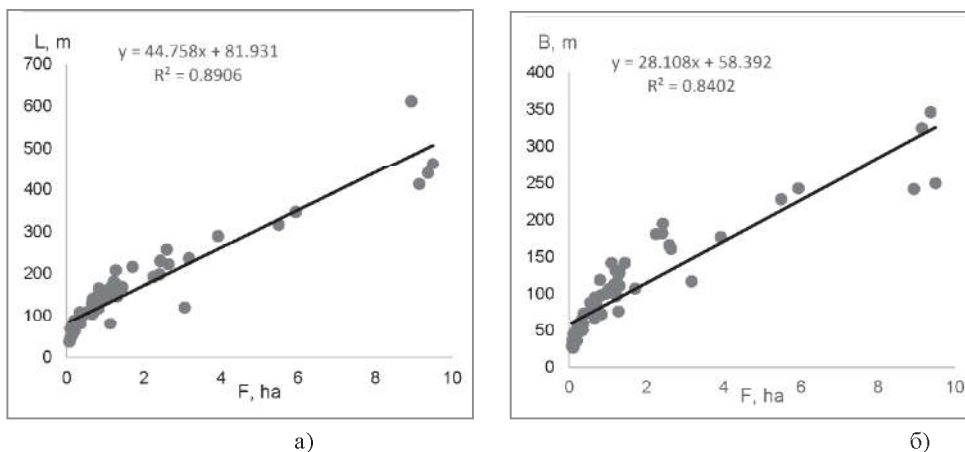
Таблица 8
Table 8

Корелация между морфометрични параметри на езерата в Северозападна Рила
Correlation between the morphometric parameters of the lakes in Northwest Rila Mountain

Показатели	F	L	B	S	K_s	B_{cp}
F	1,00	0,95***	0,92***	0,93***	-0,15	0,93***
L	0,95***	1,00	0,91***	0,98***	-0,12	0,91***
B	0,92***	0,91***	1,00	0,89***	-0,23	0,97***
S	0,93***	0,98***	0,89***	1,00	0,05	0,88***
K_s	-0,15	-0,12	-0,23	0,05	1,00	1,00
B_{cp}	0,93***	0,91***	0,97***	0,88***	-0,31*	1,00

**Корелацията е статистически значима при $\alpha = 0,01$ (двустранен критерий)

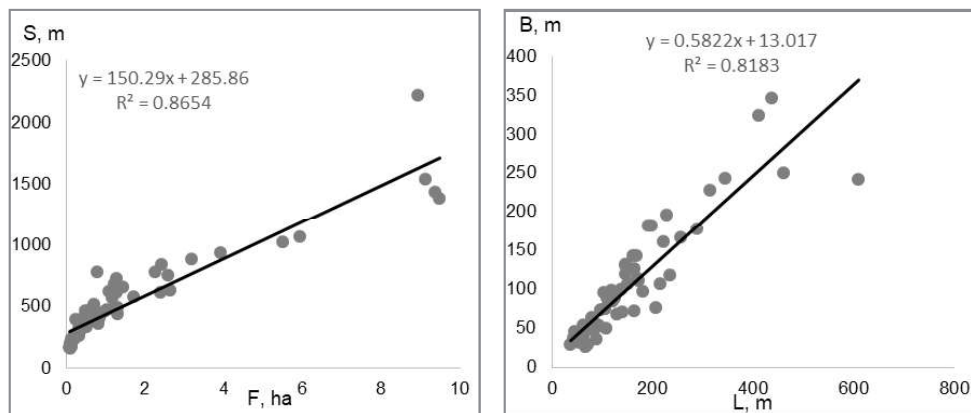
Графичният вид на връзката между площта и дължината на водното огледало, както и между площта и широчината на езерата, показва отклонения от линията, изравняваща точките, за ез. Близнака, язовирите „Калин“ и „Калин 2“ (фиг. 6а и 6б).



Фиг. 6. Връзка между: а) площ (F) и дължина (L); б) площ (F) и широчина (B) на езерата в Северозападна Рила
Fig. 6. Relationship between: a) area (F) and length (L); b) area (F) and width (B) of the Northwest Rila Mountain lakes

Отклонението на ез. Близнака от правата линия на посочените корелационни зависимости е вследствие на несъответствието между измерените морфометрични показатели: площта е изчислена за двете части (свързани с малък проток), от които е съставено езерото, а дължината и ширината – само на по-голямата част от езерото. Подобно отклонение се получава и в случая, когато в изследваните връзки между площта (F) и дължината (L) и между площта (F) и максималната широчина (B) на езерата се използват данните от „Езерата в България“ (1964). Отклонението на антропогенно модифицираните езера е обусловено от нарушено съответствие между изследваните морфометрични показатели. Сходен графичен вид има и връзката между площта (F) и средната широчина ($B_{cp.}$) на езерата, но не се представя в настоящата работа, поради ограниченията на зададения обем на годишника.

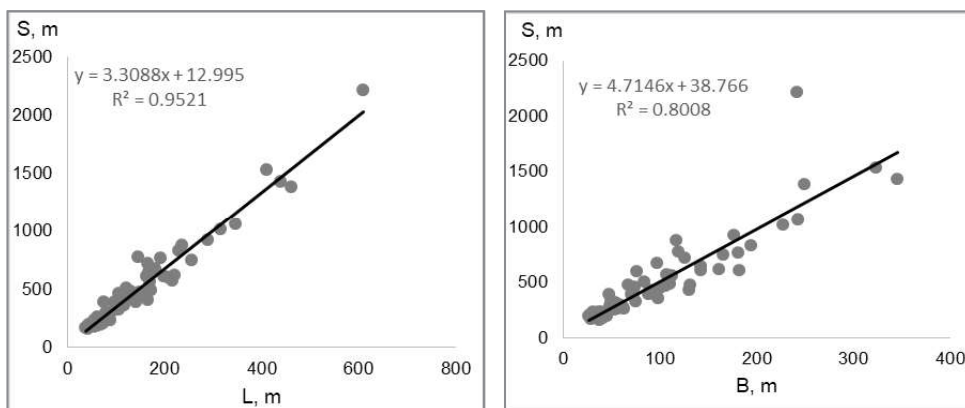
Предполагаемо, по причините, изложени по-горе, се наблюдават отклонения от изравняващата линия и при връзките и зависимостите между площ (F) и обиколка на езерата (S) и между дължина и ширина на езерата (фиг. 7). Зависимостта между дължината (L) и широчината (B) на езерното водно огледало е сходна със същата зависимост, установена за територията на цялата планина (Езерата в България 1964).



Фиг. 7. Връзка между: а) площ (F) и периметър (S); б) дължина (L) и широчина (B) на езерата в Северозападна Рила

Fig. 7. Relationship between: a) area (F) and perimeter (S); b) length (L) and width (B) of the Northwest Rila Mountain lakes

Най-гясна зависимост се установява между периметър (S) и дължина (L) на езерата, и в по-малка степен – между периметър (S) и максимална ширина (B) (табл. 8 и фиг. 8).



Фиг. 8. Връзка между: а) дължина (F) и периметър (S); б) дължина (L) и широчина (B) и периметър (S) на езерата в Северозападна Рила
 Fig. 8. Relationship between: a) area (F) and perimeter (S); b) length (L) and width (B) perimeter (S) of the Northwest Rila Mountain lakes

Подобна силна корелация между посочените морфометрични показатели получават Mosquera et al. (2017) за ледниковите езера в планината Анди (на територията на Еквадор).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Езерата в Северозападна Рила – 60 езерни водоема, образуват 12 езерни групи (от две до десет езера) и 11 езерни системи (от две до седем езера), разположени са над 2000 m, преобладаващо между 2200–2500 m и в Мусаленски дял. Стойностите на измерените и изчислените морфометрични показатели – площ, дължина, широчина (максимална и средна), периметър, коефициент на развитие на бреговата линия, не се различават значимо в сравнение със същите, установени през 60-те години на XX в., или се намират в рамките на допустимите грешки. Посоченият факт е косвено свидетелство за устойчивост на природните условия в Северозападна Рила. Получените корелационни зависимости между изследваните морфометрични показатели (потвърждават тъждествени проучвания.

Настоящата работа разширява досегашните хидрографски сведения за езерата в Северозападна Рила с описание на 16 езера повече в сравнение с досегашните публични данни, с разпределението на морфометрични показатели по планински дялове и надморска височина, както и с неизследвани досега корелационни зависимости между основните морфометрични показатели. Получените резултати обезпечават информация за следващи морфометрични и хидроложки изследвания на езерата.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров, Б., Е-М. Стоянова. 2014. Хидрографни дейности при изследване и мониторинг на биоразнообразието във високопланински езера. – *Геомедия*, 6, 1–12.
- Воденичаров, Д. 1960. Хидроботанични ситуации върху високопланинските езера в България. – *Изв. на Ботан. Инст. БАН*, т. VII, 279–291.
- Воденичаров, Д. 1962. Хидроботанични изследвания върху Урдиния циркус (Северо-западна Рила). – *Год. СУ*, LIV–LV, 1959/1960–1960/1961, 1, Биология, 138–212, С: Наука и изкуство, 1962.
- Вълканов А. 1932а. Бележки върху живота на нашите високопланински езера. – *Трудове на Българското природо-изпитателно дружество*, 15–16, 207–226.
- Вълканов, А. 1932б. Рилските и пиринските езера. – *Рибарски преглед*, 7(2), 22–24.
- Вълканов, А. 1938. Хидробиологични проучвания върху някои рилски езера. – *Год. СУ, ФМФ*, 34, 101–145.
- Гачев, Е., Ал. Гиков, И. Гачева, П. Нождаров, М. Попов. 2008. Морфология на дъното на Леденото езеро в Рила и нейната връзка с кватернерната еволюция на релефа. – *Проблеми на географията*, 3–4, 104–109.
- Езерата в България. – *Трудове на института по хидрология и метеорология*, XVI, 1964.
- Захаренков И. С. 1964. О лимнологической классификации озер Белоруссии. – *Биологические основы рыбного хозяйства на внутренних водоемах Прибалтики*, 175–176.
- Радев, Ж. 1920. Природна скулптура на високите български планини. С., Просвета.
- Vaines, S. B., K. E. Webster, T. K. Kratz, S. R. Carpenter, J. J. Magnuson. 2000. Synchronous behavior of temperature, calcium, and chlorophyll in lakes of northern Wisconsin. – *Ecology*, 81(3), 815–825. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[0815:SBOTCA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[0815:SBOTCA]2.0.CO;2)
- Benn, D. I., C. R. Warren, R. H. Mottram. 2007. Calving processes and the dynamics of calving glaciers. – *Earth-Science Reviews*, 82, 143–179. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.02.002>
- Caliman, A., L.S. Carneiro, J. M. Santangelo et al. 2010. Temporal coherence among tropical coastal lagoons: a search for patterns and mechanisms. – *Brazilian Journal of Biology*, 70(3), 803–814, <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842010000400011>,
- Carrivick, J. L., D. Bethan, J. William, Q. Duncan, N. Glasser. 2016. Distributed ice thickness and glacier volume in southern South America. – *Global and Planetary Change*, 146(11), 122–132, [10.1016/j.gloplacha.2016.09.010](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.09.010)
- Carrivick, J. L., D. J. Quincey. 2014. Quincey Progressive increase in number and volume of ice-marginal lakes on the western margin of the Greenland Ice Sheet. – *Global and Planetary Change*, 116, 156–163.
- Carrivick, J. L., F. S. Tweed, J. L. Sutherland, J. Mallalieu. 2020. Toward Numerical Modeling of Interactions Between Ice-Marginal Proglacial Lakes and Glaciers. – *Front. Earth Sci.*, 8:577068, <https://doi.org/10.3389/feart.2020.577068>
- Catalan, J., S. Pla-Rabés, A. P. Wolfe, et al. 2013. Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: A review. – *Journal of paleolimnology*, 49(3), 513–535. <https://doi.org/10.1007/s10933-013-9681-2>

- Emmer, A., J. Klimes, M. Mergili, V. Vilimek, A. Cochachin. 2016. 882 lakes of the Cordillera Blanca: an inventory, classification, evolution and assessment of susceptibility to outburst floods. – *Catena*, 147, 269–279.
- Fundamentals of Statistical Hydrology. M. Naghettini (ed.). 2017. Springer. DOI 10.1007/978-3-319-43561-9
- Gachev, E. 2009. Indicators for modern and recent climate change in the highest mountain areas of Bulgaria. – *Landform Analysis*, 10, 33–38.
- Gardelle, J., Y. Arnaud, E. Berthier. 2011. Contrasted evolution of glacial lakes along the Hindu Kush Himalaya mountain range between 1990 and 2009. – *Global and Planetary Change*, 75, 47–55.
- Hanson, P. C., S. R. Carpenter, J. A. Cardille, M. T. Coe, and L. A. Winslow. 2007. Small lakes dominate a random sample of regional lake characteristics. – *Freshwater Biol.*, 52(5), 814–822.
- Hutchinson, G.E. 1957. *A Treatise on Limnology*. Geography, Physics and Chemistry. John Wiley & Sons.
- Loriaux, T., G. Casassa. 2013. Evolution of glacial lakes from the Northern Patagonia Icefield and terrestrial water storage in a sea-level rise context. – *Global and Planetary Change*, 102, 33–40, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.12.012>
- Miles, E. S., F. Pellicciotti, I. C. Willis, J. F. Steiner, P. Buri, N. S. Arnold. 2016. Refined energy-balance modelling of a supraglacial pond, Langtang Khola, Nepal. – *Annual Glaciology*, 57 (71), 29–40, <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A421>
- Mosquera P., H. Hampel, R. F. Vázquez, M. Alonso, J. Catalan. 2017. Abundance and morphometry changes across the high-mountain lake-size gradient in the tropical Andes of Southern Ecuador. – *Water Resources Research*, 55(8), 7269–7280.
- Nie Y., Q. Liu, S. Liu. 2013. Glacial Lake Expansion in the Central Himalayas by Landsat Images, 1990–2010. – *PLoS ONE*, 8(12): e83973, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083973>
- Röhl, K. 2008. Characteristics and evolution of supraglacial ponds on debris-covered Tasman Glacier, New Zealand. – *Journal of Glaciology*, 54(188), 867–880, <https://doi.org/10.3189/002214308787779861>
- Seekell, D. A., M. L. Pace, L. J. Tranvik, C. Verpoorter. 2013. A fractal-based approach to lake size-distributions. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 517–521, doi:10.1002/grl.50139.
- Seekell, D. A., M. L. Pace. 2011. Does the Pareto distribution adequately describe the size-distribution of lakes? – *Limnol. Oceanogr.*, 56(1), 350–356.
- Shukla A., P. K. Garg, S. Srivastava. 2018. Evolution of Glacial and High-Altitude Lakes in the Sikkim, Eastern Himalaya Over the Past Four Decades (1975–2017). – *Front. Environ. Sci.* 6:81, doi: 10.3389/fenvs.2018.00081
- Wang, W., Y. Xiang, Y. Gao, A. Lu, T. Yao. 2014. Rapid expansion of glacial lakes caused by climate and glacier retreat in the central Himalayas. – *Hydrol. Process.*, 29, 859–874,
- Wetzel, R.G., G.E. Likens. 1991. *Limnological Analyses*. 2nd. Ed. Springer-Verlag.

SUMMARY
HYDROGRAPHIC DESCRIPTION OF THE LAKES
IN NORTHWEST RILA MOUNTAIN

The lakes are a typical landscape component of the alpine area of The Rila Mountain. They have been purposefully studied since 1950s and 1960s. The current article aims to present the contemporary lakes morphometry and the spatial organization of the lake groups and lake systems in Northwest Rila Mountain. The morphometric parameters were calculated using the Google Earth tools. Statistical and correlation analysis were also applied.

All 60 lakes in Northwest Rila Mountain are located above 2000 m, and they are organized into 12 lake groups (consisting of between two and ten lakes). 12 lake systems are identified, each including two or three lakes, except for one lake chain with seven lakes – the Seven Rila lakes. Most of the lake groups and lake systems are located in Musalenski ridge in Northwest Rila Mountain.

Most lakes in Northwestern Rila (43,3% of all lakes) are located between 2300–2400 m (the mean elevation is 2304,8 m). The size of the lakes varies from 0,073 ha to 9,49 ha, with a mean surface area of 1,59 ha. The very small lakes – with an area of less than 1,0 ha, dominate significantly (comprising 60,0% of all lakes). The length of the lakes in Northwestern Rila is between 37,0 m and 2245,0 m, mostly between 30,0 m and 99,0 m and 100,0 m and 199,0 m (40,0% of all lakes). The width of the lakes varies between 26 m and 346 m. The length of the lake shoreline is between 155 m and 2215 m. The coefficient of shoreline development is between 1,07 and 2,44. Statistically significant (at α 0,01 and 0,05) relationships ($R > 0,70$) are identified between the basic morphometric parameters (area and length, area and width, shoreline area and length, length and altitude, lake length and shoreline length, width and shoreline length).

The current study gives new morphometric data for 16 high-mountain lakes in Northwest Rila Mountain and evaluates the relationship between several morphometric parameters for the first time in the Bulgarian limnology studies.