

ФИЗИКОХИМИЧНИ СИГНАЛИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ ЕУТРОФИЗАЦИЯ НА АЛПИЙСКИТЕ ЕЗЕРА В ПИРИН

Надка Игнатова¹, Николай Джумерски¹, Борис Алексиев²

¹ Лесотехнически университет, София

² Политехнически университет, Торино, Италия

Резюме

Целта на проучването е да се идентифицират физикохимични параметри за качество на езерните води, като сигнал за предвиждане на риска от тяхната еутрофизация. Извършено е проучване при пълноводие и маловодие през 2014 и 2019 г. в 10 алпийски езера над 2000 m в Пирин, чрез определяне на електропроводимост, температура, рН, разтворен O_2 , БПК₅, неразтворени вещества, $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, SO_4^{2-} и PO_4^{3-} . Получените резултати, заедно с данни от мониторинг за периода 2003-2014 г. са статистически обработени и е доказана при маловодие трайна тенденция на увеличаване на БПК₅, неразтворени вещества, $N-NH_4^+$ и $N-NO_3^-$, които са избрани за индикатори при управление на риска от еутрофизация на алпийските езера и оценка на ефективността от водозащитни мерки за намаляване на азота, постъпващ в езерата от външни източници.

Ключови думи: алпийски езера, еутрофизация, индикатори, мониторинг, устойчиво управление, хидрохимия.
Keywords: alpine lakes, eutrophication, key indicators, monitoring, sustainable management, water chemistry.

JEL: Q01, Q25, Q26, Q53, Q57.

Увод

Олиготрофните алпийски езера са бедни на хранителни вещества и дори незначително повишаване на замърсители в тях има потенциал да влоши състоянието и функционирането на екосистемите им. През последните години в много алпийски езера в света е установен водораслов цъфтеж. Въпреки, че са трудно достъпни и водосборите им са защитени, те са изложени и на антропогенно влияние, като атмосферни отлагания от локален и далечен пренос [12, 26], изкуствено зарибяване [18, 20, 24, 25], влошавания [19, 22], климатични промени [12, 30], пашуване [8, 13, 14, 15] и др. Повишени концентрации на NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-} , наличие на водна растителност и заблатяване са установени в някои алпийски езера в Пирин, в седемте рилски езера, алпийски езера в Италия, Швейцария, Австрия, Канада и др. [6, 12, 19, 25, 26]. Интерес представляват и проучванията върху връзката между физикохимични показатели за качество на водата (електропроводимост, алкалност, рН, NO_3^- , SO_4^{2-}), надморска височина и появата на различни макрофити в алпийски езера от Андора, на базата на които са разработени модели за прогнозиране на водната растителност в тях [27, 28, 29]. Много автори изследват динамиката в състоянието на алпийски езера, подчертавайки, че някои от тях са изчезнали, в други се наблюдава еутрофизация, заблатяване, замучуряване и влошаване на качеството на водата [1, 2, 11, 17].

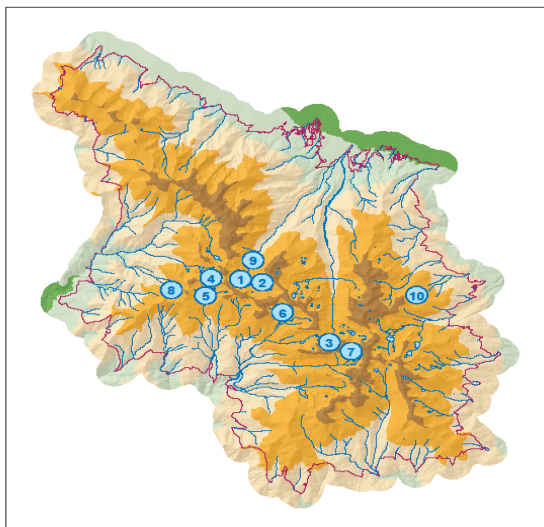
Целта на проучването е да се идентифицират индикаторни физикохимични параметри за качеството на алпийските езера, като сигнал за риск от тяхната еутрофизация.

От тази цел произтичат следните задачи:

- анализ на състоянието на алпийски езера в Пирин по физикохимични показатели при пълноводие и маловодие;
- статистическа обработка на данни за качеството на езерни води за периода 2003–2019 г. и избор на ключови физикохимични сигнали за управление на риска от еутрофизацията им;
- водозащитна програма за намаляване на риска от еутрофизация на алпийските езера;
- избор на индикатори, базирани на физикохимичните показатели за качество, чрез които да се следи ефективността от мерките за опазване на алпийските езера от еутрофизация.

1. Обекти и методи на работа

Изследвани са алпийски езера, тип L1, на височина над 2000 m в Източен Пирин, код BG4ME700L009 във водосбора на р. Места и Западен Пирин, BG4ST500L010 във водосбора на р. Струма от Екорегия EP 7. Извършена е теренно-проучвателна работа и са взети проби за анализ през 2019 г., при пълноводие и маловодие от 10 езера: Рибно, Жабешко, Превалско, Горно и Долно Спанополски, Башлийско, Тевно, Синанишко, Окото и Безбожко (фиг. 1). От тези езера са взети по 3 водни проби за химични анализи и за определяне на разтворен O_2 , наситеност с O_2 и биохимична потребност от кислород – БПК₅).



Фиг. 1. Контролни пунктове за изследване на алпийски езера в Пирин

Легенда: 1 – Рибно, 2 – Жабешко, 3 – Превалско, 4 – Спанополско Горно, 5 – Спанополско Долно, 6 – Башлийско, 7 – Тевно, 8 – Синанишко, 9 – Окото, 10 – Безбожко

На терена са измерени координатите, времето, налягането и надморската височина с GPS/GIS Controler LT 30, температурата, рН и електропроводимостта с Combo, Hanna Instruments, и са фиксирани взетите в една от двойките кислородни шишета водни проби с 40% $MnSO_4$ и 40% KOH. След транспортиране на водните проби в хладилни чанти е определено съдържанието на разтворен O_2 , наситеността с O_2 и БПК₅ по метода на Винклер. В третата водна проба от 1 dm³ е определено съдържанието на неразтворени вещества тегловно, след филтруване през мембранен филтър 0,45 μm , NH_4^+ и NO_3^- по метода на Келдал на азотен анализатор „Келтек“ (Текатор, Швеция), SO_4^{2-} и PO_4^{3-} спектрометрично на „Lambda 5“ (Perkin-Elmer, USA) [5, 21].

Получените резултати са сравнени с данните на същите автори от 2014 г., както и с тези от мониторинг за 2003–2014 г. [6, 7, 16, 23], обработени са статистически, проследена е динамиката по характерни показатели и са избрани най-индикаторните от тях като сигнали за управление на риска от еутрофизация.

2. Резултати и дискусия

Изследваните езера са типични глациални олиготрофни до мезотрофни с код 3130. Разположени са на височини от 2062 м (Окото) до 2519 м (Тевно). Площта им е от 2,20 дка (Окото)

до 62,49 и 64,00 дка (респективно Тевно и Рибно), а дълбочината им варира от 2,0 м (Башлийско) до 12,2 м (Рибно). Само 2 от езерата имаха при маловодие подобна визия както при пълноводие – Синанишко и Тевно. В тях не се забелязваше водна растителност на повърхността, водата беше прозрачна, чиста, с почти същото водно количество. Всички останали езера изглеждаха при маловодие много променени органолептично, силно заблатени, с много и различни водни растения, планктонен цъфтеж и значително намалено водно количество спрямо пълноводие. Във водосборите им имаше много крави и навсякъде беше осеяно с техните екскременти (Рибно, Окото, Башлийско, Превалско, Спанополско Долно, Жабешко и Безбожко). В Рибно, Башлийско и Спанополско Долно езера, висшата водна растителност изпълваше целия обем на водните тела, усещаше се неприятен мирис от гнилостните процеси, и се наблюдаваха участъци на заблатяване.

Средната температура на водата в изследваните езера при маловодие беше 14,6 °C, а при пълноводие, 12,8 °C (табл. 1), което дава основание за сравнителни проучвания върху останалите показатели.

Близки стойности запазва и киселинността на езерните води – при маловодие средно 7,49 рН единици, а при пълноводие – 7,82. Прави, обаче, впечатление по-съществено намаляване на рН на езерата, повлияни най-силно от водна растителност (Жабешко, Рибно, Превалско, Башлийско и Безбожко). При пълноводие рН средно е 8,23, докато при маловодие е 7,38, показващо кисляване с близо една рН единица, което би могло да се дължи на гнилостни процеси с отмиращата биомаса в тях (табл. 1).

На това кисляване съответства повишаване на SO_4^{2-} , от 2,50 mg.dm⁻³ при пълноводие, до 15,15 mg.dm⁻³ при маловодие, а PO_4^{3-} са в много ниски концентрации (табл. 2).

По-високо е и съдържанието на неразтворени вещества в езерата при маловодие (средно 8,87 mg.dm⁻³), в сравнение с пълноводие (6,10 mg.dm⁻³). Сравнявайки най-засегнатите от водна растителност езера (Жабешко, Рибно, Превалско, Башлийско и Безбожко), се вижда, че средното съдържание на неразтворени компоненти в тях при пълноводие е било 4,15 mg.dm⁻³ докато при маловодие съответно 8,87 mg.dm⁻³. Всички измерени стойности, обаче, са по-ниски от нормите за повърхностни води, използвани за питейно-битови цели (25 mg.dm⁻³) [10] (табл. 1).

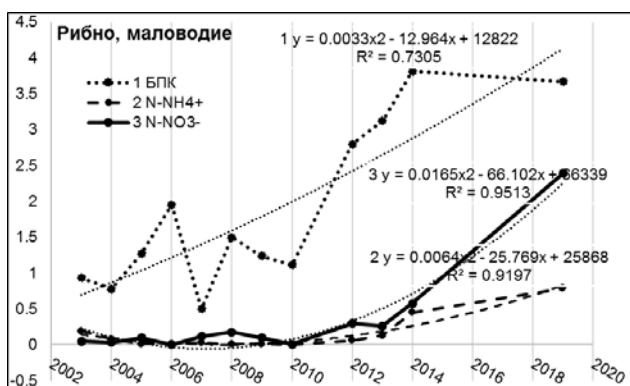
ФИЗИКОХИМИЧНИ СИГНАЛИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА РИСКА ОТ ЕУТРОФИЗАЦИЯ НА АЛПИЙСКИТЕ ЕЗЕРА В ПИРИН

Табл. 1. Физикохимични показатели на езерните води в Пирин (ляво – пълноводие; дясно – маловодие)

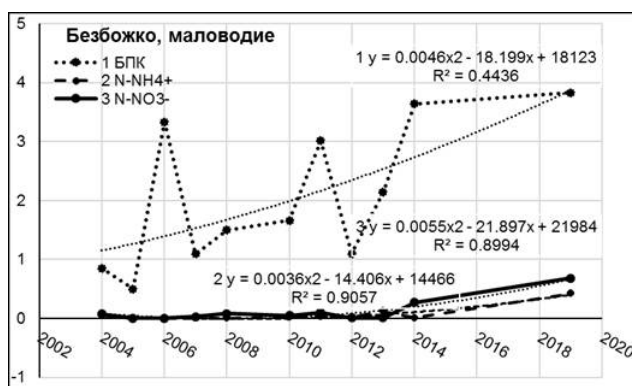
N	Езеро	Дата	Температура, °C	Неразтв. в-ва, mg.dm ⁻³	pH	Електропр., μS.cm ⁻¹
1	Рибно	24.06/29.08.2019 г.	9,5/15,5	3,35/9,64	8,38/7,72	9,2/24
2	Жабешко	24.06/29.08.2019 г.	17,2/16,5	5,44/9,37	8,41/7,76	17,1/11,1
3	Превалско	26.06/30.08.2019 г.	5,3/13,2	2,06/7,12	8,31/7,36	8,1/31,3
4	Спанополско Горно	27.06/31.08.2019 г.	14,2/13,0	1,83/7,35	7,82/7,28	6,1/27,5
5	Спанополско Долно	27.06/31.08.2019 г.	15,7/12,8	2,54/7,89	7,54/7,45	11,1/25,1
6	Башлийско	28.06/2.09.2019 г.	16,4/10,7	4,59/8,75	7,52/7,02	18,1/27,1
7	Тевно	26.06/30.08.2019 г.	10,6/17,6	8,46/9,43	6,82/7,86	54,2/15,2
8	Синанишко	27.06/31.08.2019 г.	12,8/12,8	12,28/9,03	7,58/7,62	125/108
9	Окото	24.06/1.09.2019 г.	14,4/16,4	17,14/10,86	7,44/7,84	17,3/13,3
10	Безбожко	25.06/30.08.2019 г.	12,1/17,1	3,37/9,22	8,42/7,03	10,4/19,4
	Средно		12,8/14,6	6,10 / 8,87	7,82/7,49	27,6/30,2
	Min		5,3/10,7	1,83 / 7,12	6,82/7,02	6,1/11,1
	Max		17,2/17,6	17,14 / 10,86	8,42/7,86	125/108
	Стандарт за качество (Наредба Н4) [9]	Отлично		До 25 (Нар. 12) [10]	6,5–8,7	650
		Добро			6,5–8,7	750
		Умерено			6,5–8,7	Над 750

Табл. 2. Кислороден режим, SO₄²⁻ и PO₄³⁻ в езерата в Пирин при пълноводие (ляво) и маловодие (дясно)

N	Езеро	SO ₄ ²⁻ , mg.dm ⁻³	PO ₄ ³⁻ , mg.dm ⁻³	Разт. O ₂ , mg.dm ⁻³	Насит. с O ₂ , %	БПК ₅ , mg.dm ⁻³
1	Рибно	1,75/13,97	0,0003/0,0003	10,42/9,27	97,75/101,65	0,69/3,67
2	Жабешко	2,00/13,22	0,0003/0,0003	8,86/9,07	99,20/98,77	1,67/3,12
3	Превалско	3,25/18,22	0,0003/0,0003	10,74/9,19	99,87/109,86	0,56/2,25
4	Спанополско Горно	2,75/18,48	0,0003/0,0003	8,69/10,06	99,38/99,37	0,63/2,54
5	Спанополско Долно	2,25/14,22	0,0003/0,0003	9,18/9,86	99,46/98,22	0,97/2,84
6	Башлийско	3,25/19,97	0/0	8,64/10,35	95,05/102,79	2,66/4,98
7	Тевно	2,50/15,72	0,0003/0,0018	10,06/8,86	96,93/96,65	2,64/3,17
8	Синанишко	3,00/11,72	0,0003/0,0003	8,97/9,86	91,01/95,78	2,62/2,26
9	Окото	1,75/9,97	0/0	8,17/9,09	85,99/93,18	2,91/3,62
10	Безбожко	2,50/15,97	0/0,0003	8,94/8,95	89,27/100,34	1,79/3,83
	Средно	2,50/15,15	0,0002/0,0004	9,27/9,45	95,39/99,66	1,71/3,26
	Min	1,75/9,97	0/0	8,17/8,86	85,99/93,18	0,56/2,26
	Max	3,25/19,97	0,0003/0,0018	10,74/10,35	99,87/109,86	2,91/4,98
	Стандарт за качество (Наредба Н4) [9]	Отлично	До 0,0125	10,5–8,0	Над 70	до 1,0
		Добро	0,0125–0,04	8,0–6,0	Над 50	1,0–2,5
		Умерено	Над 0,04	Под 6,0	Над 30	Над 2,5



Фиг. 2. Динамика на индикаторни физикохимични показатели за Рибно езеро за периода 2003–2019 г.

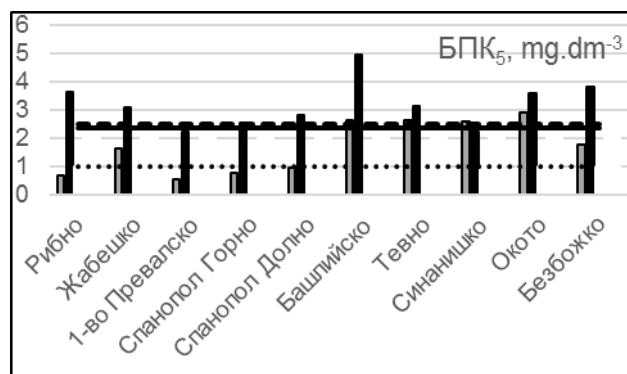


Фиг. 3. Динамика на индикаторни физикохимични показатели за Безбожко езеро за периода 2004–2019 г.

За същите езера, най-повлияни от водна растителност, се е увеличила и електропроводимостта средно от $14,36 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ при пълноводие на $23,38 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ при маловодие. За разлика от тях, в езерните води без еутрофикация електропроводимостта е намаляла. Независимо от отбелязаната динамика, всички изследвани водни тела запазват отлично състояние по този показател, при норма $650 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ [9] (табл. 1).

Кислородният режим на изследваните езерни водни тела се запазва в отлично състояние през целия период на проучване. Концентрациите на разтворен O_2 са съпоставими при пълноводие средно $9,32 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, а при маловодие $9,45 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Разликата се състои в това, че при пълноводие наситеността с O_2 е висока, но в рамките на 100%, което е характерно за чисти природни води без еутрофикация. При маловодие, за езерата Рибно, Превалско, Башлийско и Безбожко, наситеността с O_2 е над 100%, което пък е типично за еутрофизирани води, и се дължи на фотосинтезата (табл. 2).

Най-влошено е качеството на езерните води по интегралния показател за замърсяване с биологично разградими органични вещества БПК₅ и концентрацията на азотсъдържащите съединения, оценени чрез N-NH_4^+ и N-NO_3^- . С изключение на Синанишко езеро, при останалите водни тела за два месеца замърсяването с органика се е увеличило два пъти – при пълноводие средната стойност на БПК₅ за всички езера и била $1,77 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, докато при маловодие е достигнала $3,26 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (фиг.4). Най-съществено е влошаването по този показател за най-силно засегнатите от водна растителност езера (Жабешко, Рибно, Превалско, Спанополско Долно, Башлийско и Безбожко), показващо, че БПК₅ е добър индикатор за оценка на еутрофикацията в тях.

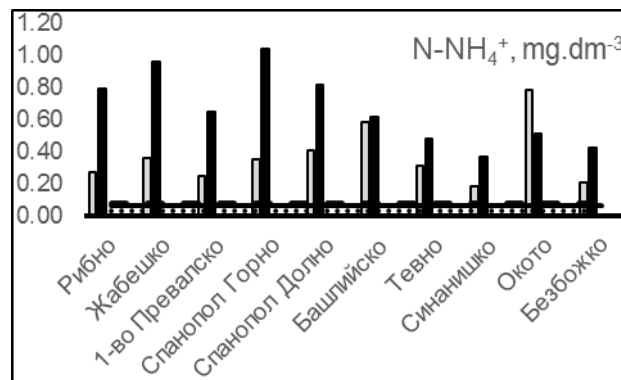


Фиг. 4. БПК₅ в езерата при пълноводие (ляво) и маловодие (дясно) за 2019 г., $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Легенда: Отлично – точки; Добро – плътна линия; Умерено – пунктир

Съдържанието на N-NH_4^+ , който се дължи на пряко постъпили фекални продукти във водата, също се е увеличило почти двойно за период от

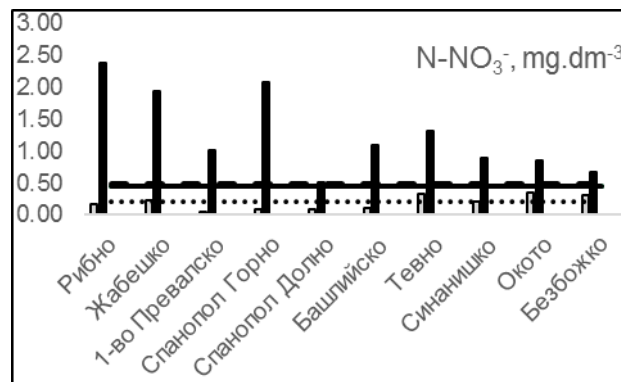
два месеца, от $0,33 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ при пълноводие до $0,67 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ при маловодие (Фиг. 5).



Фиг. 5. N-NH_4^+ в езерата при пълноводие (ляво) и маловодие (дясно) за 2019 г., $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Легенда: Отлично – точки; Добро – плътна линия; Умерено – пунктир

Най-съществено (6 пъти) е повишаването на N-NO_3^- в езерните води, от средно $0,20 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ при пълноводие до $1,28 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ при маловодие. Най-високата измерена стойност при пълноводие ($0,35 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ в езеро Окото) е по-ниска от най-ниската концентрация на N-NO_3^- при маловодие ($0,51 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ в Спанополско Долно езеро), а за 4 от изследваните езера (Жабешко, Рибно, Превалско и Башлийско) увеличението на N-NO_3^- във водите им е 14-кратно (от $0,14 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ при пълноводие до $1,86 \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ при маловодие) (фиг. 6).



Фиг. 6. N-NO_3^- в езерата при пълноводие (ляво) и маловодие (дясно) за 2019 г., $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

Легенда: Отлично – точки; Добро – плътна линия; Умерено – пунктир

Следователно, за управление на риска от еутрофикация на алпийските езера, могат да се препоръчат водозащитни мерки, свързани с намаляване на достъпа на азот до тях, чрез електропастири, модулни пречиствателни станции за туристическите обекти, ограничаване броя на пашуващите животни над 2000 м и мониторинг по показателите БПК₅, неразтворени вещества, N-NH_4^+ и N-NO_3^- , избрани като индикатори.

Заклучение

По преобладаваща част от определяните физикохимични показатели за качество, алпийските езера в Пирин са в отлично състояние по изискванията на нормите, както при пълноводие, така и при маловодие [3, 4, 9]. Повечето от езерата при маловодие са засегнати от обилна водна растителност, замучуряване, заблацияване, замърсяване на крайбрежните им територии с животински екскременти, причинено от големи стада пашуващи домашни животни. По 4 от изследваните показатели (БПК₅, съдържание на неразтворени вещества, N-NH₄⁺ и N-NO₃⁻) са установени по-високи стойности при маловодие и тенденция на замърсяване за периода 2003–2019 г., поради което те са избрани като сигнали за риск от еутрофикация и оценка на ефективността от прилагане на водозащитни мерки за намаляване на вноса на азот в езерата.

Литература

1. Вълканов, А. Бележки върху живота на нашенските високопланински езера. *Трудове на Бълг. природозн. д-во*. кн. XV-XVI. 1932. София.
2. Георгиев, Г. *Езерата в Пирин*. Изв. на Бълг. географско д-во. София. 1938.
3. *Директива за водите* 2000/60/ЕС; Изм. 2014/101/ЕС/30.10.2014 г.
4. *Закона за водите*. ДВ бр. 67/27.07.1999. чл. 135, ал. 1, т. 17.
5. Игнатова Н. *Ръководство по опазване на водите*. Издателска къща ЛТУ. София. 1998. 235 с.
6. Игнатова, Н., Джумерски Н, Алексиев, Б. Управление на устойчивото развитие на качествата на водите от високопланинските езера в Национален парк „Пирин“. *Управление и устойчиво развитие*. 5 (66). 2017. 68–73.
7. Игнатова, Н., Джумерски, Н, Алексиев, Б. Мониторинг на устойчивото развитие на качествата на речните водни тела в Национален Парк „Пирин“. *Устойчиво развитие*. 2017. год. VII. 1. 63–73.
8. Марковски, Л., Георгиев Г. *Източници на отпадъчни води на територията на НП „Пирин“ и мерки за намаляване на замърсяването и здравния риск*. 2014.
9. *Наредба №Н-4 Характеризиране на повърхностни води*. ДВ 22/5.03.2013.
10. *Наредба №12 Качествени изисквания към повърхностни води, предназначени за питейно-битово водоснабдяване*. ДВ 15/21.02.2012.
11. Ненов, Т. *Очите на Пирин*. Изд. Медицина и физкултура. София. 1969. 80 с.
12. Николова, М., Железов, Г., Недков, С., Нождаров, П., Крумова, Ю., Николов, В., Гикова, А., Гачев, Е. *Промени в околната среда и съвременно състояние на защитена зона „Седемте Рилски Езера“*. Space, ecology, safety. София. 2012. 377–386.
13. *План за управление на речните басейни в Запад-нобеломорски басейн за 2010–2015 г.* МОСВ.
14. *План за управление на речните басейни в Запад-нобеломорски басейн за 2016–2021 г.* МОСВ.
15. *План за управление на НП Пирин*. 2004. МОСВ.
16. *Протоколи от мониторинг на повърхностните води в НП Пирин за периода 2003–2014*. ИАОС. МОСВ.
17. Езерата в България. *Трудове на института по хидрология и метеорология*. том 7. 1964.
18. Boggero, A., Barbieri, A., Jong, J., Marchetto, A., Mosello, R. Chemistry and critical loads of Alpine lakes in Canton Ticino (Central Alps). *Aquat. Sci.* 60. 1998. p. 300.
19. CIPRA. *Gli ultimi fiumi naturali delle Alpi*. International Alpenschutzkommission Publ. Vaduz. 1992. 71 pp.
20. Eby, L., Roach, W., Crowder, L., Stanford, J. Effects of stocking-up freshwater food webs. *Trends Ecol. Evol.* 21. 2006. 576–584.
21. EN ISO 5667-1:2006/AC:2017. *Water quality – Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques*
22. Godlevska, M., Mazurkiewicz, G., Pocięcha, A., Wilk, E., Jelonek, M. Effects of flood on the functioning of the Dobczyce reservoir ecosys. *Hydrobiol.* 2003. 305–313.
23. Ignatova, N., Slijper, M. Surface water quality assessment in the Pirin National Park, Bulgaria. *Journal of International Scientific Publications. Ecology and safety*. Vol. 9. Part 1. 2015. 546–560.
24. Magnea, U., Sciascia, R., Paparella, F., Tiberti, R., Provenzale, A. Model for high-altitude Alpine lakes ecosystems and the effect of introduced fish. *Ecol. Mod.* 251. 2013. 211–220.
25. Mosello, R., Lami, A., Guilizzoni, P. Limnological studies on two acid sensitive lakes in the South Western Alps, Italy. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 51. 1992. 127–146.
26. Orbaek, J., Kalenborn, R., Tombre, I. *Arctic Alpine ecosystems and people in a changing environment*. Springer. Heidelberg. 2007. 434.
27. Pulido, C., Keijsers D., Lucassen, E., Pedersen, O., Roelofs, J. Elevated alkalinity and sulfate adversely affect the aquatic macrophyte *Lobelia dortmanna*. *Aquat. Ecol.* 46. 2012. 283–295.
28. Pulido, C., Sand-Jensen, K., Lucassen, E., Roelofs J., Brodersen, K., Pedersen, O. Improved prediction of vegetation composition in NW European soft-water lakes by combining location, water and sediment chemistry. *Aquat. Sci.* 74. 2012. 351–360.
29. Pulido, C., Riera, J., Ballesteros, E., Chappuis, E., Gacia, E. Predicting aquatic macrophyte occurrence in soft-water oligotrophic lakes (Pyrenees mountain range). *J. Limnology.* 74 (1). 2015. 143–154.
30. Rogora, M., Mosello, R., Arischi, S. The effect of climate warming on the hydrochemistry of Alpine lakes. *Water air soil poll.* 148. 2003. 347–361.

PHYSICOCHEMICAL SIGNALS FOR THE RISK MANAGEMENT OF ALPINE LAKES EUTROPHICATION IN THE PIRIN MOUNTAIN

Nadka Ignatova¹, Nikolay Djumersky¹, Boris Alexiev²

¹ University of Forestry, Sofia, Bulgaria

² Polytechnic University of Turin, Italy

Abstract

The aim of the study is to identify the physicochemical quality parameters of the lakes, as a signal for their eutrophication. During the periods of high and low water level in 2014 and 2019, investigations have been done for 10 alpine lakes in the Pirin Mountain by measuring conductivity, temperature, pH, dissolved O₂, Biological Oxygen Demand, Suspended Particle Material, SO₄²⁻, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ and P-PO₄³⁻. Results, obtained together with data from the local monitoring for the period 2003–2014, have been treated statistically, increasing of Biological Oxygen Demand, suspended particles, N-NH₄⁺ and N-NO₃⁻ for the period of low water level has been discovered and these parameters have been selected as key indicators for predicting the risk of alpine lakes eutrophication and for estimating the effect of proposed water protection measures for sustainable N-reduction in alpine lakes from external diffuse sources.