

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES

УДК 502.4+004.9

Olga V. Alokhdina¹, PhD, Researcher
ORCID ID 0000-0002-5537-2720 *e-mail*: alokhina2011@gmail.com

Mykola M. Korus¹, Engineer
ORCID ID 0000-0002-8014-5378 *e-mail*: nikkor2005@gmail.com

Dariia V. Ivchenko¹, Associated Researcher
ORCID ID 0000-0002-6715-5782 *e-mail*: darusichka@gmail.com

Natalia A. Pits¹, Associated Researcher
ORCID ID 0000-0002-1346-7166 *e-mail*: nataliapits2011@gmail.com

Vitaliy V. Turych², Researcher
ORCID ID 0000-0003-0705-3079 *e-mail*: vitaliy_turych@ukr.net

¹ Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

² Shatsk National Natural Park of the SAFR of Ukraine

BATHYMETRY INVESTIGATIONS OF SVITIAZ LAKE IN THE AREA OF PROBABLE WATER SUPPLY UNDERGROUND SOURCES LOCATION

Abstract. *The question of ecological safety level decreasing within the West Polesie protected territories that concern changes in hydrological conditions driven by intensification of the influence of climate changes and anthropogenic loads, has been considered in the paper. Statistical analysis and field instrumental measurements were used for estimation the influence of regional climate on hydrological conditions within the territory. According to bathymetry surveys and geoinformation analysis results, the siltation degree of the deepest hollows of Svityaz Lake was estimated. Hypotheses concerning the ways of underground water supply as well as the reasons for water level decreasing in the Lake were formulated, taking into account climatic conditions within the West Polesie territory: the lake is filled by infiltration of water from aquifers through permeable rocks; water infiltration occurs not only within the fault of Lake Svityaz, but also in its flatter part; significant intensity of trajectories (water streams) within the fault allows us to conclude that the main filling of the lake occurs within this part due to the opening of permeable rocks, which contributes to a more intensive release of groundwater.*

Keywords: *West Polesie; Svityaz Lake; bathymetry surveys; karst hollow – “tonia”; sediments; “Shatskiy” Bioreserve*

О.В. Альохіна¹, М.М. Корусь¹, Д.В. Івченко¹, Н.А. Піць¹, В.В. Турич²

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів, Україна

² Шацький національний природний парк ДАЛР України

БАТИМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЗЕРА СВІТЯЗЬ В ОКОЛІ РОЗТАШУВАННЯ МОЖЛИВИХ ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ ЙОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

***Анотація.** У статті розглянуто питання зниження рівня екологічної безпеки природоохоронних територій Західного Полісся в частині зміни гідрологічних умов, зумовлених інтенсифікацією впливу кліматичних змін та антропогенних чинників. Засоби статистичного аналізу і наземних інструментальних вимірювань використано для оцінки впливу регіонального клімату на стан обводнення досліджуваної території. За результатами батиметричних досліджень та геоінформаційного аналізу оцінено ступінь замулення найглибших западин озера Світязь та сформульовано гіпотези щодо шляхів підземного водопостачання водоїми та причин зниження рівня води, з врахуванням сучасних кліматичних умов в межах території Західного Полісся.*

***Ключові слова:** Західне Полісся; озеро Світязь; батиметричні дослідження; карстова лійка – «тоня»; донні відклади; біорезерват «Шацький»*

Вступ

Територія Західного Полісся України характеризується великою водонасиченістю, багатством ландшафтного та біологічного різноманіття і відіграє важливу роль у формуванні клімату значної частини Європейського континенту.

Озеро Світязь – найглибше й найбільше за об'ємом водного середовища прісноводне озеро України та Західного Полісся – належить до групи Шацьких озер. У сучасних умовах значного зниження рівня екологічної безпеки, зумовленого інтенсифікацією впливу кліматичних змін й антропогенних навантажень, озеро має велике значення як джерело прісної води, яке потрібно зберегти.

Проблема зниження рівня обводнення території Західного Полісся значно загострилася і набула значного суспільного резонансу впродовж 2019 року. Думки наукової спільноти щодо причин цього процесу досить різняться. Проте, основних чинників, вплив яких необхідно ґрунтовно дослідити, два: регіональні зміни клімату, зумовлені глобальним потеплінням, та антропогенні й, можливо, техногенні.

Стан досліджень

На сьогодні, переважна більшість науковців, які займаються проблемами змін клімату, вважають, що причиною глобального потепління є діяльність людини. Також, слід зауважити, що потепління – це загальна усереднена тенденція. Зміна температур відбувається нерівномірно і є географічно та сезонно мінливою.

Проведений аналіз даних середньорічних температур на регіональному рівні, зокрема в межах території Західного Полісся України, за різні періоди (1888–2018 рр. (130 років), 1918–2018 рр. (100 років), 1968–2018 рр. (50 років) та 1993–2018 рр. (25 років) (рис. 1), дозволяє зробити висновок, що за останні 100–130 років відбувалось підвищення середньорічної температури на 0,02°C на рік. За останні 25 років підвищення регіональної середньорічної температури становить 0,08°C [1, 2]. **Тобто, за останні роки середньорічна температура повітря на території Західного Полісся зростала у 4 рази швидше, ніж за останні 130 років.**

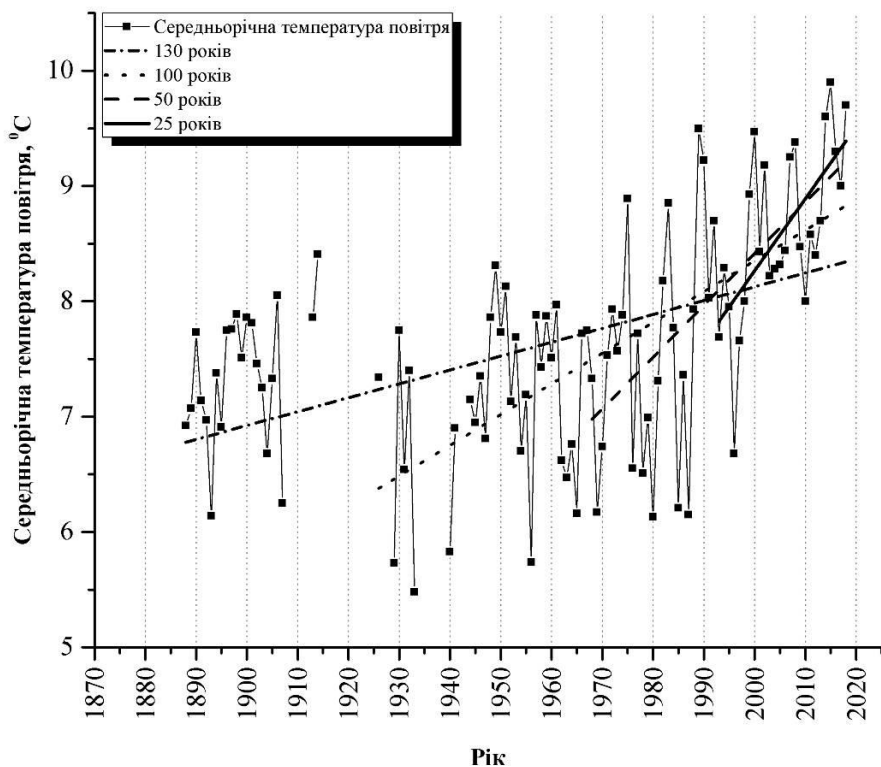


Рис. 1 – Тренди змін середньорічних температур на території Західного Полісся України за останні 25, 50, 100 та 130 років

Наслідки таких інтенсивних змін клімату можуть призвести до негативного екологічного стану компонентів навколишнього середовища, що зумовило створення у 2010 році системи комплексного екологічного моніторингу (КЕМ) території біорезервату «Шацький» співробітниками Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України та Шацького національного природного парку, яка працює і донині [3].

В рамках наземної складової системи КЕМ закладено 34 тестові ділянки, які представлені різними типами екосистем – ліси, луки, водно-болотні угіддя (рис. 2) та охоплюють території з різними типами формування балансу ґрунтових вод (типи формування балансу ґрунтових вод оцифровано відповідно до даних Інституту водних проблем та меліорації НААН України). На тестових ділянках проводяться вимірювання рівнів ґрунтових та

поверхневих вод, моніторинг функціональних фізичних параметрів ґрунтів та спостереження за індикаторними видами флорами та фауни.

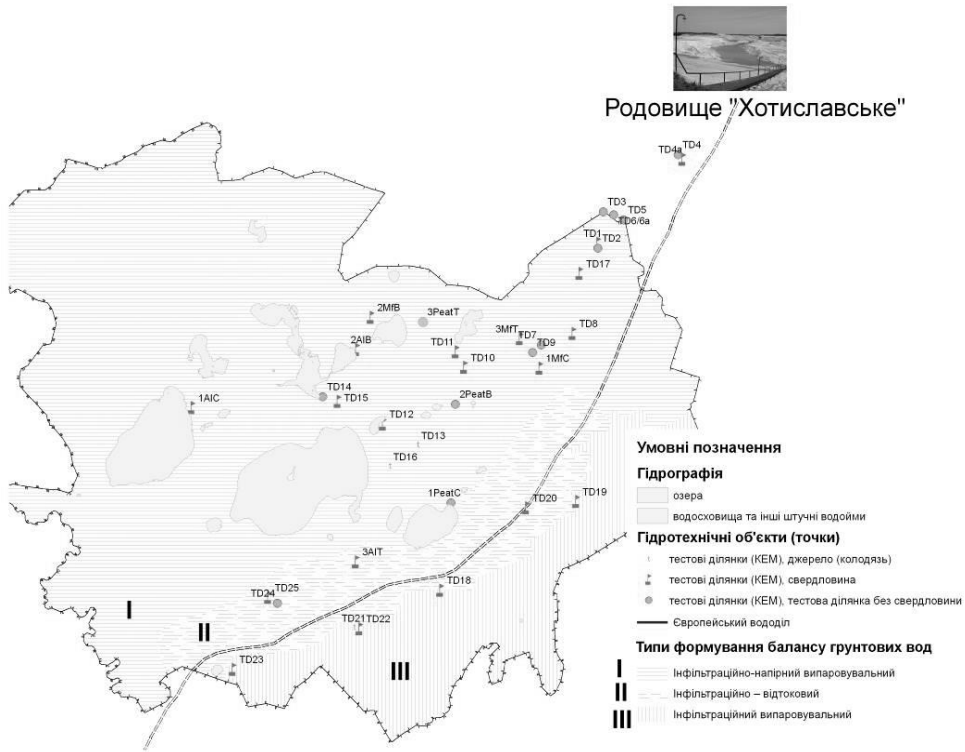


Рис. 2 – Наземна складова системи комплексного екологічного моніторингу території біорезервату «Шацький»

Аналіз динаміки змін основних метеорологічних показників (середньої температури повітря T_{avr} та сумарної кількості опадів V з травня по серпень за період 2009–2019 рр.) на території в межах тестових ділянок показав, що, за даними спостережень станом на 2019 рік, спостерігалось підвищення T_{avr} (рис. 1) та значне зменшення V на території Західного Полісся у 2019 р.: помітний стрибок T_{avr} у 2014 р. (підвищення на $0,5^{\circ}\text{C}$ за період 2014–2019 рр. порівняно з періодом 2009–2014 рр.) та синхронне значне зменшення V (на 2 мм/добу за період 2014–2019 рр.) порівняно з періодом 2009–2014 рр. При цьому, враховано, що 2015 рік був одним із найпосушливіших років за останнє десятиріччя.

Аналіз даних наземних вимірювань щодо сезонних змін глибини залягання ґрунтових вод показав, що глибина залягання ґрунтових вод в межах тестових ділянок, які представлені вільховими лісами (1AIC, 2AIB та 4a) (рис. 3), у 2019 році є навіть дещо вищою або на рівні 2015 року. Така сама ситуація спостерігається і на ділянках, розташованих в межах мішаного лісу (2MfB, 3MfT та 1MfC) (рис. 4).

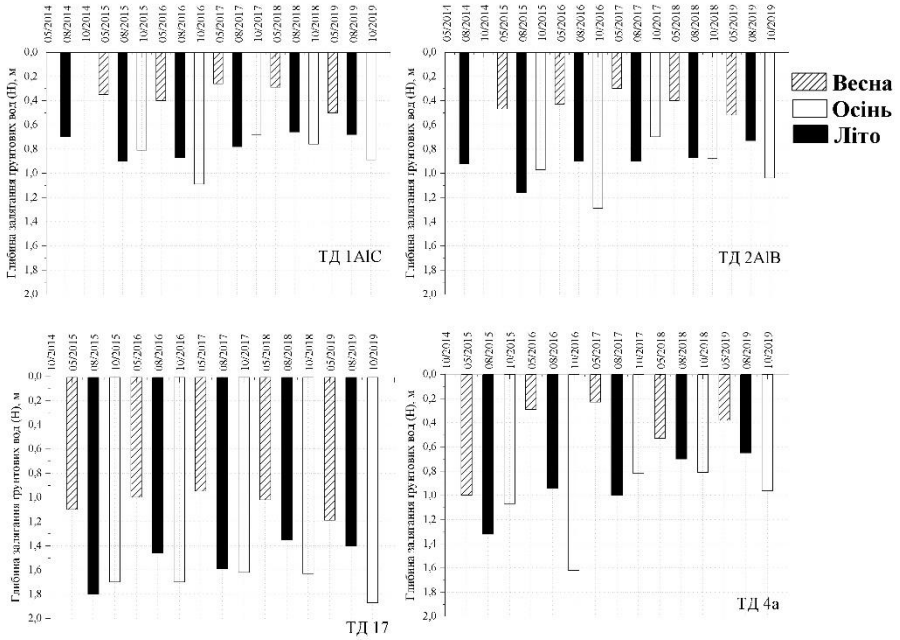


Рис. 3 – Сезонні зміни глибини залягання ґрунтових вод за 2010–2019 рр. на тестових ділянках, що відносяться до I-го типу формування балансу ґрунтових вод та представлені вільховими лісами (1A1C, 2A1B та 4a)

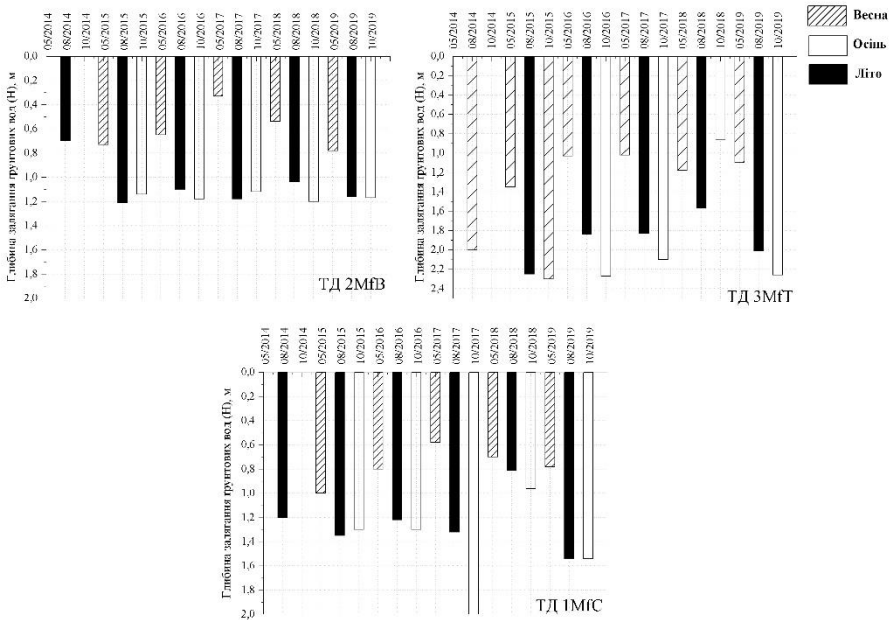


Рис. 4 – Сезонні зміни глибини залягання ґрунтових вод за 2010–2019 рр. на тестових ділянках, що відносяться до I-го типу формування балансу ґрунтових вод та представлені мішаними лісами (2MfB, 3MfT та 1MfC)

Тобто, на сьогодні, загальне зниження рівня обводнення (за даними про глибину залягання ґрунтових вод) території біорезервату «Шацький» є очевидним, проте воно не є аномальним або таким, що не відповідає змінам основних метеорологічних показників.

Попри зниження глибини залягання ґрунтових вод, впродовж 2019 року, відбулися зміни і у рівнях поверхневих вод в межах озерних комплексів біорезервату. Формування рівня поверхневих вод в межах озерних комплексів відбувається, головним чином, за рахунок атмосферних опадів, випаровування, підземних джерел живлення, впадання річок і каналів. З точки зору екологічної безпеки природоохоронної території біорезервату «Шацький» у 2019 році особливої актуальності набула ситуація, пов'язана із значним зниженням рівня води в озері Світязь.

Для дистанційного моніторингу рівня обводнення та зміни урізу води озера Світязь було використано 2 космічні знімки з супутника *Sentinel-2* з просторовою розрізненістю 10 м (канали *Red*, *Green*, *Blue*). Створені у комбінації «природні кольори» космічні знімки представлені на рис. 5.

Для виділення водного дзеркала озера було розраховано індекс *NDWI* (Normalized Difference Water Index) за формулою:

$$NDWI = \frac{X_{green} - X_{nir}}{X_{green} + X_{nir}},$$

де X_{green} , X_{nir} – коефіцієнти поглинання 3-го і 8-го каналів супутника *Sentinel-2*.

Для водних об'єктів значення даного індексу приймають $NDWI \geq 0$.

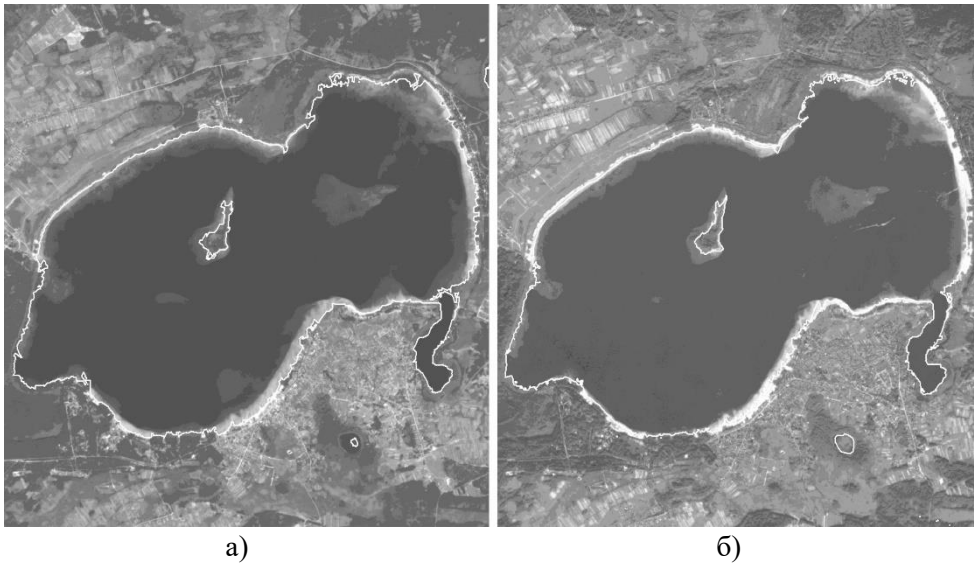


Рис. 5 – Межі водного дзеркала за даними *Sentinel-2* озера Світязь станом на:
а) 1 липня 2019 р., б) 1 листопада 2019 р.

В результаті розрахунку було виділено полігони водного дзеркала озера Світязь станом на 1 липня та 1 листопада 2019 р. (рис. 5). Обчислення площ цих полігонів показало, що впродовж 4 місяців вони зменшилися на 30,9 га з 2418,5 га у липні до 2387,6 га у листопаді.

Однією з основних особливостей озера є відсутність зовнішніх джерел водопостачання за рахунок поверхневих вод. Окрім атмосферних опадів, основне джерело водопостачання – напірні підземні води [4]. Автори цієї статті стверджують, що притік підземних вод щороку в озеро становить 3,5 млн м³. Проте, експериментально підтверджені кількісні оцінки цього твердження в науковій літературі поки що відсутні. У зв'язку із цим, пошук імовірних підземних джерел водопостачання оз. Світязь і кількісна оцінка їх продуктивності – актуальне наукове і прикладне завдання.

Перші морфометричні дослідження оз. Світязь 1899 р. провів київський учений П. Тутковський, за результатами яких він уперше опублікував його основні морфометричні параметри [5]. У 1910 р. польський учений Б. Дибовський, котрий працював у Львівському університеті, провів своє дослідження озера [6], яке підтвердило основні результати, отримані П. Тутковським. Першою батиметричною картою озера можна вважати карту С. Ленцевича [7], опубліковану у 1931 р. У 1996 р. науковці Львівського університету імені Івана Франка доповнили карту С. Ленцевича назвами окремих частин акваторії озера та навколишніх населених пунктів. Наступний етап батиметричних досліджень озера – публікація 2007 р. І. Залеським картосхеми [8], на якій вперше нанесено карстові лійки.

Особливого значення пошук підземних джерел водопостачання озера набув, починаючи з 2009 року, у зв'язку із промисловим освоєнням крейдового родовища «Хотиславське» на території Білорусі. Останнє, за оцінками українських учених [9], розкриє водоносні горизонти четвертинних і верхньокрейдяних відкладів, які є основним джерелом водопостачання та господарського використання, що може мати значний негативний вплив на водопостачання і озера Світязь.

У зв'язку із вищенаведеним, як перший етап, у 2013 році співробітниками Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України та Шацького національного природного парку були проведені батиметричні вимірювання всієї акваторії оз. Світязь. Проведене докладне ехолокаційне зондування дна по всій акваторії озера дозволило сформувати базу батиметричних даних, побудувати цифрову модель рельєфу дна та карту глибин оз. Світязь [10].

Проведений аналіз літературних джерел та проведені нами батиметричні дослідження 2013 року, попри створення цифрової моделі рельєфу дна та карти глибин, не дали відповіді щодо локалізації можливих джерел водопостачання озера. Проте, враховуючи ситуацію із критичним зниженням рівня води в озері Світязь протягом 2019 року, було обґрунтовано проведення додаткових батиметричних досліджень в місцях локалізації карстових лієнок для підтвердження або спростування гіпотези щодо значного замулення цих ділянок як можливих місць локалізації основних джерел водопостачання озера. Також, слід зауважити, що у жодних працях, які стосуються батиметричних досліджень озера Світязь, немає підтверджень щодо точної локалізації цих джерел та їх вигляду. Іншими словами, невідомо, яким чином саме вода поступає до озера.

Матеріали і методи

Дно оз. Світязь не являє собою «тарілку», характерну для більшості озер біорезервату. Його рельєф складний, присутні і мілини, і западини, так звані карстові лійки, або «тоні», з різними глибинами (рис. 6).

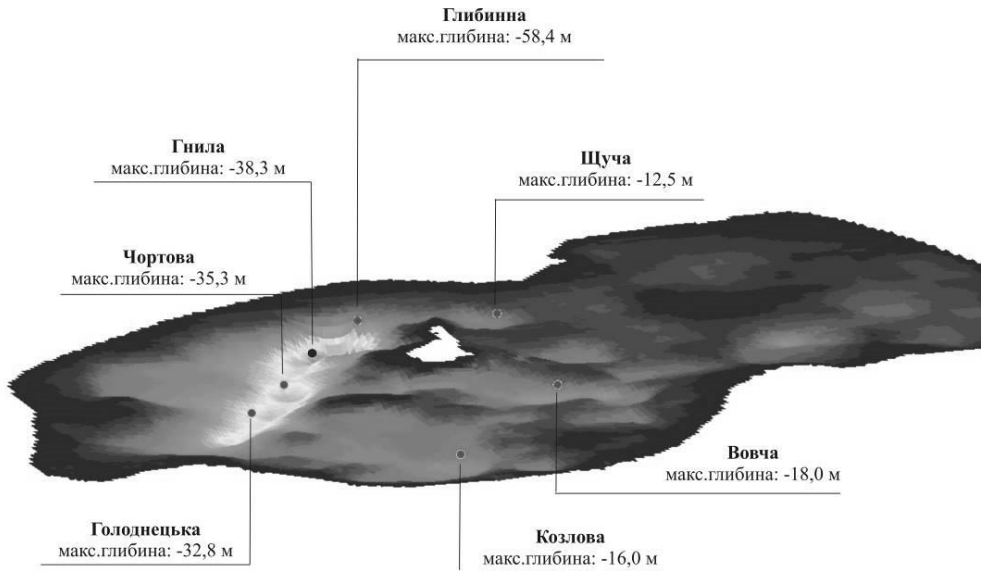


Рис. 6 – Карстові лійки, або «тоні», озера Світязь

Тому важливими вимогами до процесу вимірювання глибин є відносно висока точність і мала просторова дискретність, а також просторова прив'язка вимірів. Особливості рельєфу дна формують також певні вимоги до прокладання маршрутів вимірювань, які повинні охопити досліджувану ділянку із максимально можливим дотриманням однакових кліматичних умов під час їх реалізації. На основі створеної цифрової карти глибин озера було розроблено методіку батиметричних вимірювань із використанням ехолотатора (сонара) типу Lowrance LMS-527cDF і GPS, суміщеного із GPS-приймачем для супутникової навігації. Основні технічні характеристики сонара: частота випромінювача – 50 кГц або 200 кГц, кут діаграми спрямованості ультразвукових перетворювачів (УЗ) – 35° (50 кГц) або 12° (200 кГц), максимальна глибина зондування – 760 м, максимальна швидкість судна при вимірюванні – 130 км/год. Основні технічні характеристики навігатора: 12-канальний приймач GPS/WAAS стандарту NMEA 2000, оновлення координат – щосекунди, похибка визначення координат не більше 10 м. Вибрана просторова дискретність вимірювань урахувала відносно малу швидкодію навігатора, а саме: для фіксування даних сонара і GPS-приймача з дискретністю 1 м швидкість пересування не повинна перевищувати 3,6 км/год. Це особливо важливо при дослідженні складних ділянок рельєфу дна оз. Світязь.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів

Для складання цифрових карт відкладів в межах досліджуваних ділянок, кожна з яких має площу приблизно 6 га, спочатку проведені вимірювання з довжиною треку по широті 300 м та дискретністю по довготі – приблизно 25 м (рис. 7). За результатами ультразвукового зондування на двох частотах, було опрацьовано ряд отриманих ехограм та «хмари» точок, які у подальшому використані для

створення карт глибин та карт відкладів з використанням програмних продуктів ArcGis [11].

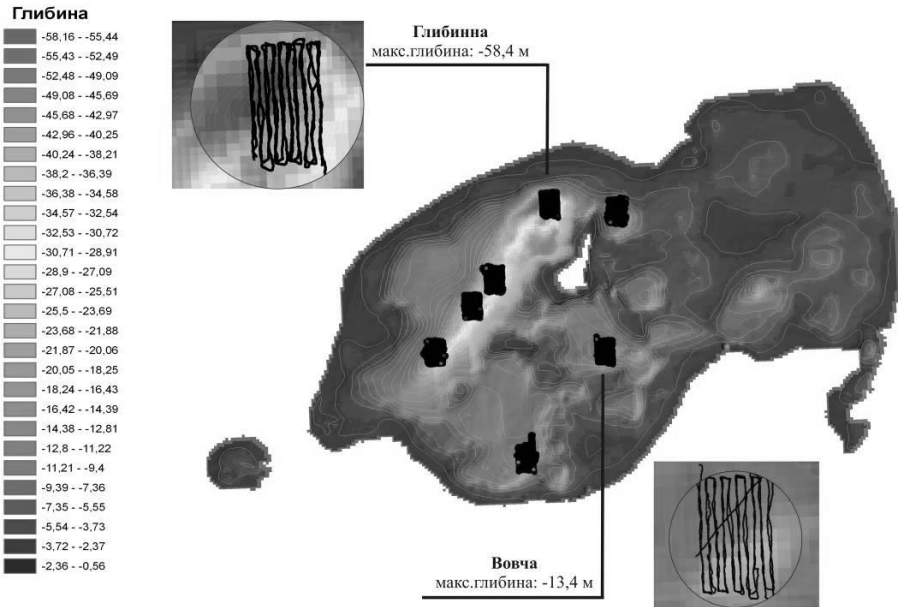


Рис. 7 – Маршрути ехолокації на 200 кГц та 50 кГц в межах найглибших ділянок («тоні») оз. Світязь (листопад 2019 р.)

Донні відклади в межах карстових заглибин. *«Тоня» Вовча* знаходиться у південно-східній частині озера Світязь. Максимальна глибина становить -18,0 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів складає 0,78 м, а найбільше значення потужності – 2,7 м (рис. 8). Глибини ділянок, наведених на рисунку 7, складають від -16,0 до -18,0 м.

«Тоня» Козлова знаходиться у південній частині озера Світязь. Максимальна глибина в межах цієї западини складає -16,0 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів складає 1,04 м. На рисунку 9 наведено місця з найбільшою потужністю донних відкладів. Слід зауважити, що ці місця локалізуються на глибинах від -12 до -15 м.

«Тоня» Голодницька є найпівденнішою «тонею» в межах розлому. Максимальна глибина становить -32,8 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів складає 0,80 м, а найбільше значення потужності – 1,98 м (рис. 10). Потужність донних відкладів в межах досліджуваної ділянки є незначною.

«Тоня» Чортова є однією з чотирьох найбільших западин в розломі озера. Максимальна глибина становить -35,3 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів в межах ділянки складає 0,82 м, а найбільше значення потужності складає 3,2 м. Максимальна глибина ділянки, в межах якої зафіксовано найбільшу потужність донних відкладів (3,2 м), становить 33 м. Глибини інших двох ділянок з потужністю донних відкладів 2,4 м становлять 26 м та 32 м (рис. 11).

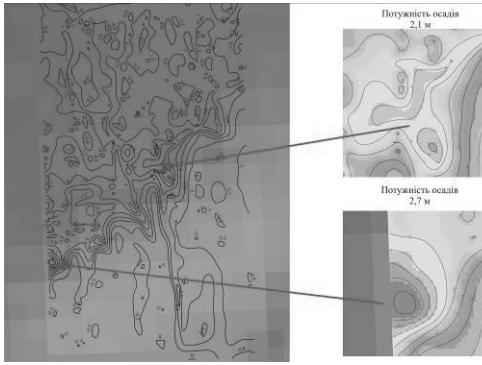


Рис. 8 – Карта донних відкладів «тоні» Вовча: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

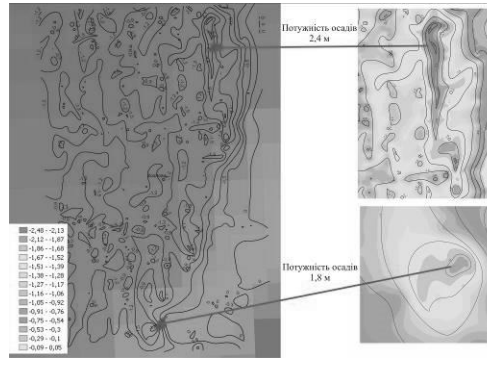


Рис. 9 – Карта донних відкладів «тоні» Козлова: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

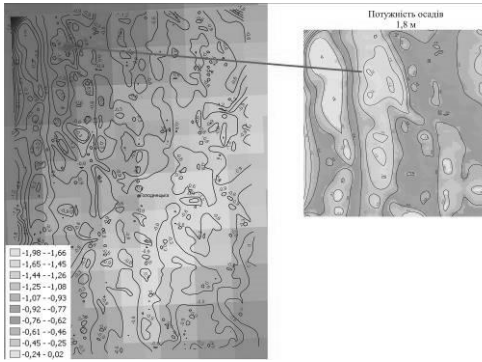


Рис. 10 – Карта донних відкладів «тоні» Голодницька: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

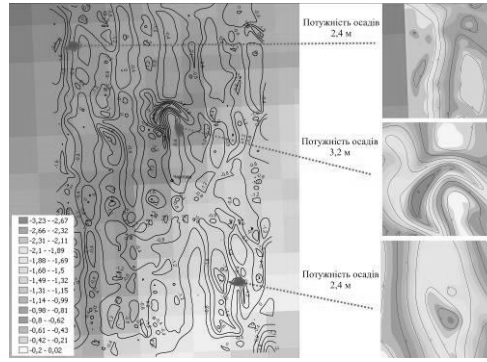


Рис. 11 – Карта донних відкладів «тоні» Чортова: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

«Тоня» Гнила – наступна западина в розломі. Максимальна глибина становить -38,3 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів в межах ділянки складає 0,73 м, а найбільше значення потужності складає 1,8 м. Глибина ділянок з найбільшими значеннями потужності донних відкладів становить -33,0 м (рис. 12).

«Тоня» Глибинна – найглибша западина в розломі з максимальною глибиною 58,4 м (рис. 6). Середня потужність донних відкладів в межах ділянки складає 0,83 м, а найбільше значення потужності складає 4,2 м (рис. 13). Глибина ділянок з потужністю донних відкладів від 3,9 м до 4,2 м становить від -45,0 м до -47,0 м. Потужність донних відкладів 3,6 м зафіксована на глибинах від -49,0 м до 51,0 м, а глибина ділянки з потужністю 3,2 м становить від -47,0 м до -49,0 м.

Таким чином, середня потужність донних відкладів в межах усіх досліджених найглибших западин озера Світязь коливається в межах від -0,7 до -1,04 м.

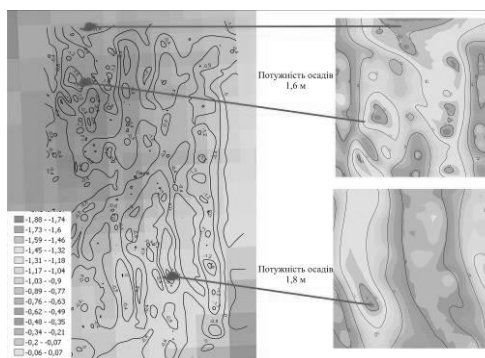


Рис. 12 – Карта донних відкладів «тоні» Гнила: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

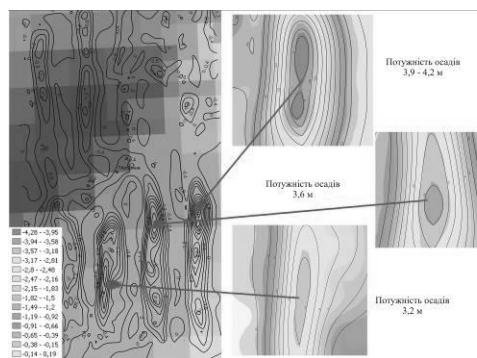


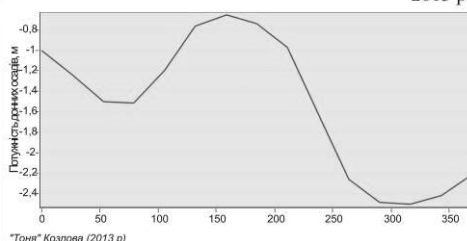
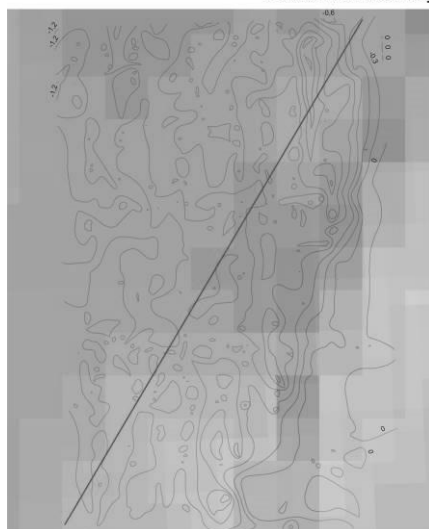
Рис. 13 – Карта донних відкладів «тоні» Глибинна: місця з найбільшою потужністю відкладів в межах досліджуваної ділянки

Різниця у розмірах пікселя у 2013 р. – 30 м та у 2019 р. – 1 м є досить суттєвою, що унеможливує достеменно попіксельне порівняння значень потужності донних відкладів, отриманих у ці роки. Це пов'язане з тим, що у попередніх дослідженнях проводилось ехолокаційне зондування всієї акваторії озера, а станом на сьогодні вимірювання проводились тільки для найглибших його западин. Проте, незважаючи на вищенаведене, була проведена просторова порівняльна оцінка потужності донних відкладів за 2013 та 2019 рр. вздовж профілів, проведених в межах ділянок, виміряних у 2019 р. З розподілу профілів, наведених на рис. 14, встановлено, що загальна максимальна потужність відкладів в межах цієї ділянки протягом зазначеного періоду не змінилась.

Потужність відкладів вздовж профілю «Тоня» Козлова, макс. глиб. -16,0 м

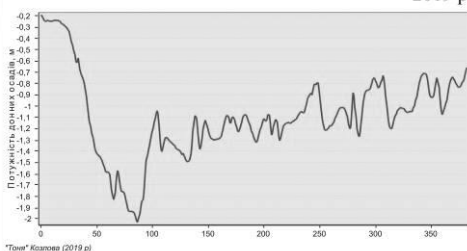
Середня потужність відкладів - 1,04 м
Максимальна потужність відкладів - 2,5 м

2013 р.



Тоня Козлова (2013 р.)

2019 р.



Тоня Козлова (2019 р.)

Рис. 14 – Порівняльна характеристика потужності донних відкладів в межах «тоні» Козлова за період 2013-2019 рр.

Такі порівняння були проведені для всіх западин і, на сьогодні, немає підстав стверджувати про значне замулення дна найглибших западин озера Світязь шляхом утворення потужних шарів донних відкладів.

Підземне живлення озера Світязь. Незважаючи на проведені дослідження, питання щодо живлення озера Світязь залишається відкритим і також відкритим залишається питання, як саме та у якому вигляді відбувається це живлення. Адже поступлення води з підземних джерел до водойми може відбуватись різними шляхами – у вигляді крапель, струменів або потужних джерел. Припущень з цього питання у літературних джерелах є багато і, в більшості випадків, всі схилиються до існування саме потужних джерел.

Приймаючи до уваги усе вищенаведене, ми провели детальне вивчення всіх наявних ехограм за 2013 та 2019 рр. За додатковими даними, отриманими з сонара, були вивчені ехограми на предмет відбиваючих властивостей дна озера. Різні ґрунти мають різну здатність відбивати та поглинати звукові хвилі – каміння та глина добре відбивають звукові хвилі і тому на екрані ехолоту створюють досить широку лінію. Мулисте та піщане дно відображається на ехолоті більш тонкою лінією.

Також, був проведений аналіз для виявлення різних предметів (риба, рослинність, каміння та інші предмети) для нехтування ними при вивченні ехограм.

Аналіз високої і відносно низької частоти для лунолокації дозволив виявити деякі особливості водних потоків з підземних джерел, які, зокрема, містять рухомі включення мулу та газових бульбашок. Рух цих включень формує на ехограмах відповідні треки, кількість і форма яких дає інформацію про параметри руху цих включень і які відрізняються на обраних частотах.

Додатковим аргументом щодо вивчення ехограм у цьому напрямку стали ехограми, на яких відображено вихід бульбашок метану під час ехолокації дна водосховища, що візуально проявляються похилими траєкторіями (рис. 15).

Ще одним параметром щодо пошуку місць виходу води є ділянки скупчення риб, оскільки саме ці ділянки багаті на кисень (рис. 16).

Таким чином, аналіз ехограм в межах чотирьох найглибших западин озера, які знаходяться в межах розлому (Глибинна, Гнила, Чортова та Голоднецька) (рис. 6), показав найбільшу інтенсивність руху нахилених траєкторій, які на ехограмах можна добре відрізнити від риб, оскільки останні залишають на ехограмах дугоподібні траєкторії.

Траєкторії, які ми можемо спостерігати на ехограмах, відрізняються і за своєю довжиною: під час малого ходу, ці відмітки є більш довгими (рис. 17), а під час пришвидшення, вони стають коротшими, а деколи зовсім малопомітними (рис. 18). Найбільша інтенсивність руху в межах чотирьох вищенаведених ділянок спостерігається в межах «тоні» Голоднецька. На рис. 19 – рис. 20 під час зондування на 200 кГц (верхні ехограми) в межах кожної ділянки ми можемо спостерігати досить помітну лінію, що нависає над дном. Із зменшенням глибини вздовж розлому ця лінія стає менш помітною і на ділянці «тоні» Голоднецька (рис. 21), яка має найменшу глибину, вона практично зникає. При цьому збільшується інтенсивність руху траєкторій. Враховуючи період проведення зондування (листопад 2019 р.), це може бути пов'язане із досить низькою температурою води і, відповідно, з підвищеною в'язкістю води в межах нижчих форм рельєфу, що може впливати на інтенсивність виходу водних струменів.

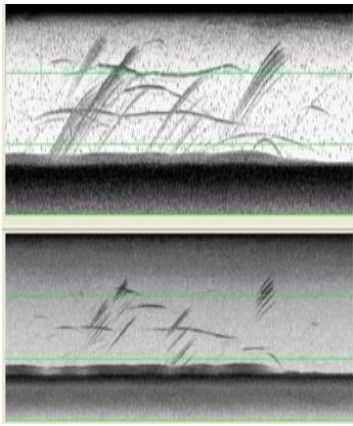


Рис. 15 – Ехограми виходу бульбашок метану у водосховищі за результатами ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 83 кГц (нижня ехограма)



Рис. 16 – Ехограма зондування озера Світязь на 200 кГц

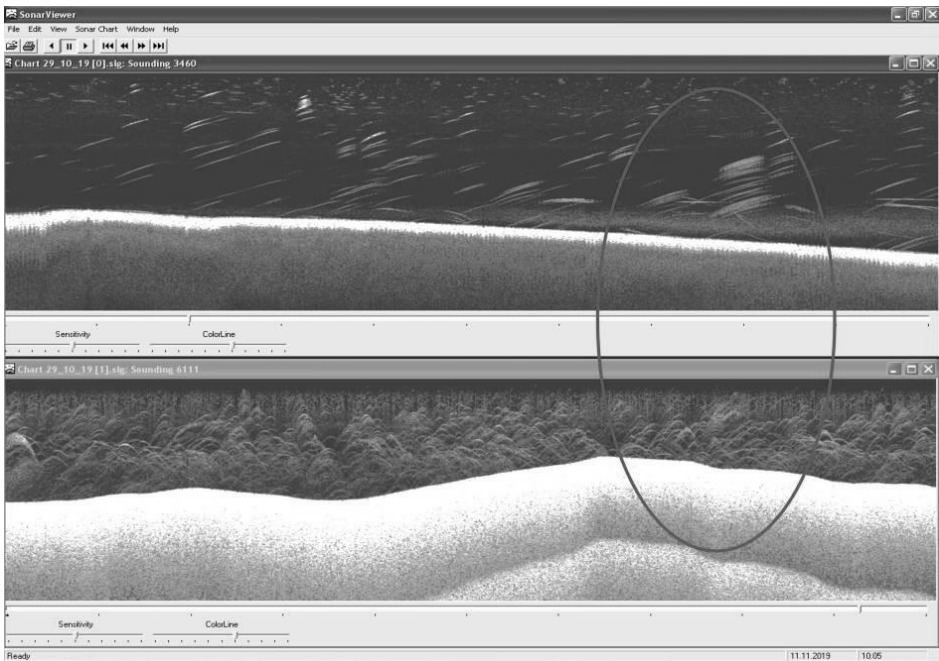


Рис. 17 – Ехограма водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Гнила під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -32,6 м, потужність донних відкладів 0,92 м

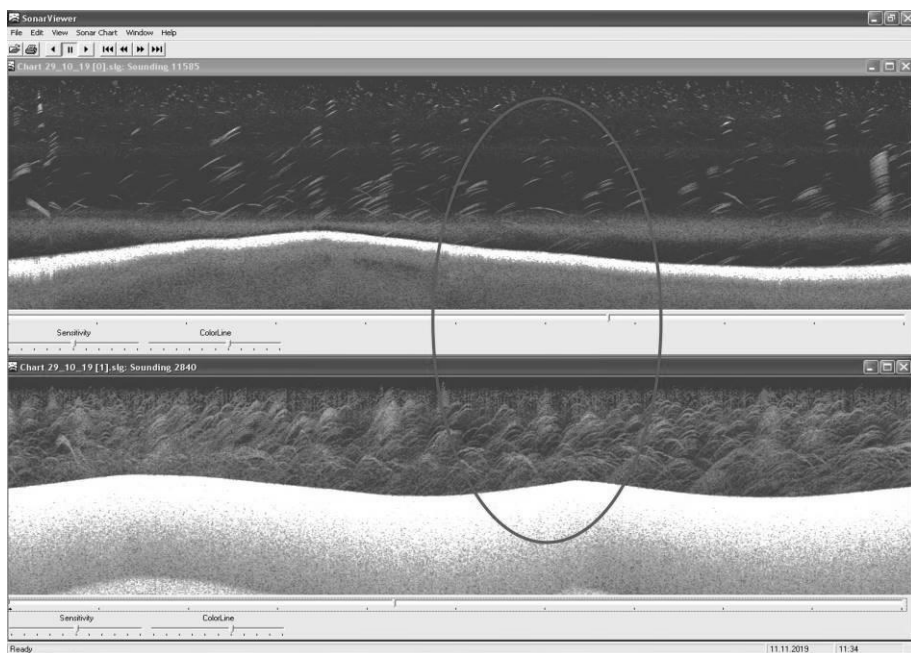


Рис. 18 – Ехограма водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Гнила під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -34,6 м, потужність донних відкладів 1,4 м

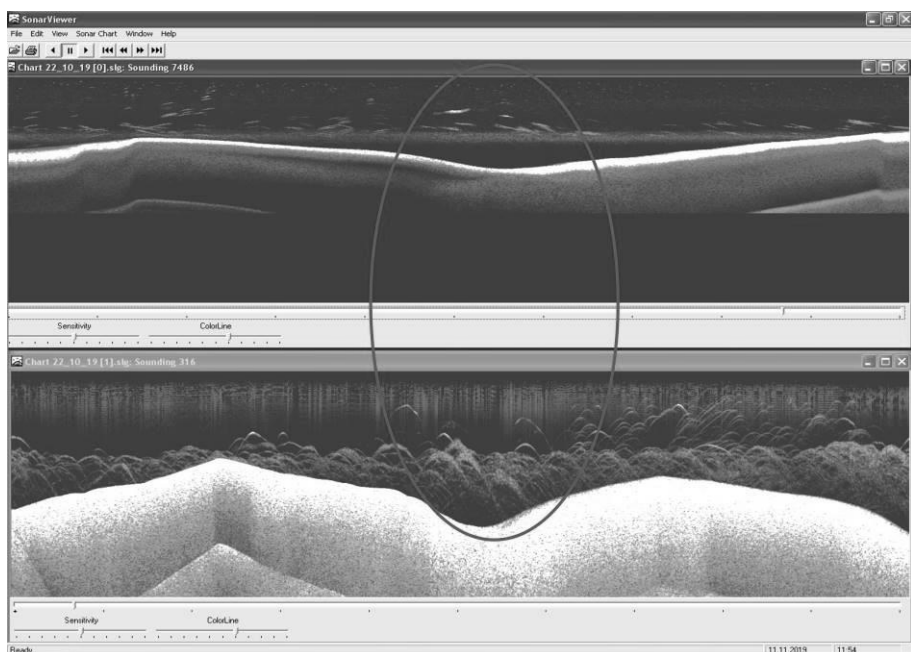


Рис. 19 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Глибинна під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -47,9 м, потужність донних відкладів 0,48 м

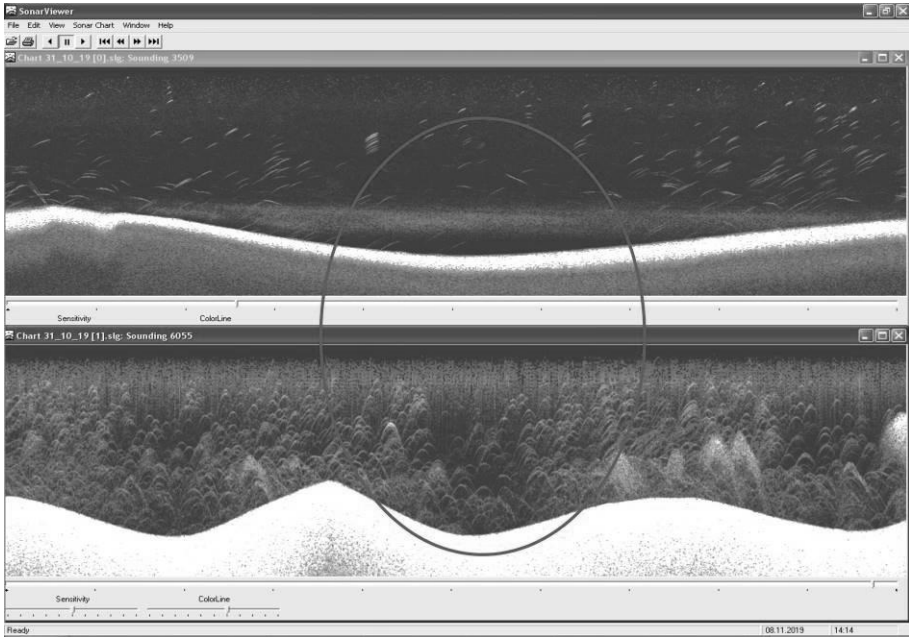


Рис. 20 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Чортова під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -37,9 м, потужність донних відкладів 0,6 м

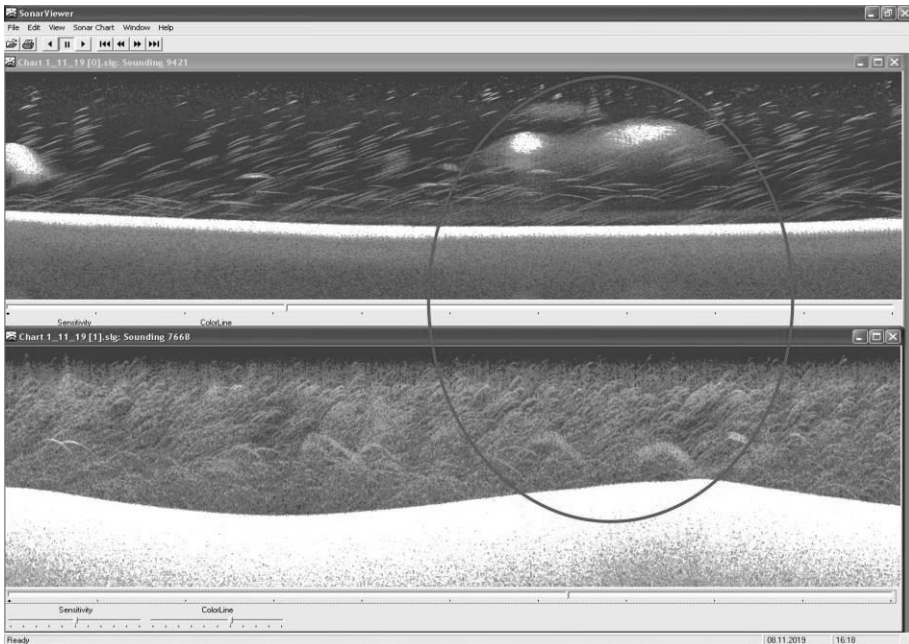


Рис. 21 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Голоднецька під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -31,0 м, потужність донних відкладів 0,4 м

Зовсім інша ситуація щодо інтенсивності руху траєкторій спостерігається в межах ділянок, що знаходяться в більш плоскій частині озера, зокрема це

«тоні» Козлова, Вовча та Щуча (рис. 22, рис. 23). На наведених рисунках одразу помітно, що інтенсивність траєкторій під час зондування на частоті 50 кГц (нижні ехограми) є досить низькою і, відповідно, їх інтенсивність на ехограмах, що відповідають 200 кГц, є також низькою (рис. 22) або відсутня повністю (рис. 23). В межах ділянки Щуча інтенсивність є практично відсутньою при зондуванні як на 50 кГц, так і на 20 кГц.

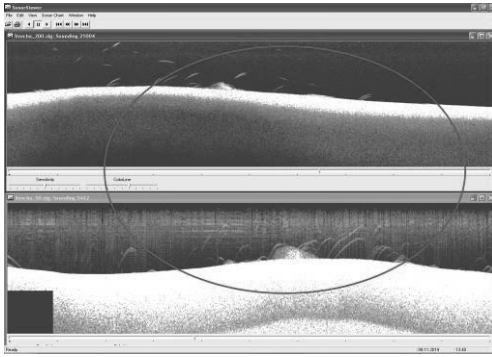


Рис. 22 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Вовча під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -15,7 м, потужність донних відкладів 1,19 м

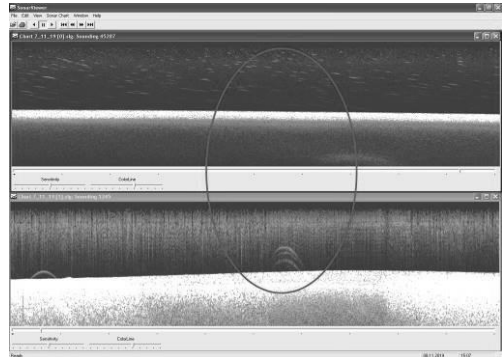


Рис. 23 – Ехограми водних потоків з підземних джерел в межах «тоні» Козлова під час ехолокації на 200 кГц (верхня ехограма) та 50 кГц (нижня ехограма): глибина точки -12,9 м, потужність донних відкладів 0,68 м

Висновки

Таким чином, проведена оцінка потужності донних відкладів в межах найглибших ділянок озера Світязь та аналіз ехограм за 2013–2019 рр. дозволяють зробити наступні висновки і сформулювати гіпотези щодо зниження рівня води в озері. Доведення цих гіпотез, в свою чергу, потребує обов'язкових додаткових періодичних батиметричних вимірювань, ґрунтовних геологічних та гідрогеологічних досліджень та обґрунтувань.

1. Наповнення озера відбувається шляхом просочування води з водоносних горизонтів через водопроникні породи.

2. Просочування води відбувається не тільки в межах розлому озера Світязь, а й в більш плоскій його частині.

3. Значна інтенсивність руху траєкторій (струмків води) в межах розлому дозволяє зробити висновок, що основне наповнення озера відбувається в межах саме цієї частини внаслідок розкриття водопроникних порід, що сприяє більш інтенсивному виходу підземних вод.

Із врахуванням того, що основним джерелом наповнення озера Світязь (80%) є атмосферні опади та пов'язаний із ними поверхневий стік, то, беручи до уваги ситуацію із регіональним кліматом у 2019 році, сьогоденне наповнення водою озера відбувається переважно з підземних джерел (20%). На сьогодні, ми не можемо однозначно стверджувати, що зменшення рівня води в озері пов'язане із значним зменшенням продуктивності підземних джерел, оскільки, поки що, неможливо провести порівняльні оцінки внаслідок

відсутності попередніх даних. Проте, проведені нами дослідження дозволяють зробити висновок, що в межах більш плоскої частини озера поступлення води відбувається менш інтенсивно, ніж з частини в межах розлому. Тому, як результат, можуть бути сформовані дві гіпотези, які потребують ґрунтовних геологічних та гідрогеологічних обґрунтувань для їх підтвердження або спростування:

1. Оскільки область плоского рельєфу дна займає значно більшу частину акваторії озера, ніж область в межах розлому, і глибина його значно менша, то можна припустити, що обсяги поступлення води в озеро, в основному, визначаються джерелами, розташованими в цій області, і що на продуктивність водопостачання цих джерел інтенсивніше впливає зниження рівня ґрунтових і поверхневих вод, а не глибоко розміщених джерел підземних вод. Враховуючи це, ми знову повертаємось до переважаючого впливу регіонального клімату на природно-заповідну територію.

2. Друга гіпотеза полягає у тому, що підземне живлення озера Світязь, геологічно, може бути пов'язане із іншим конкретним регіоном. І якщо в межах цього регіону внаслідок змін клімату також відбулось зниження рівня обводнення, то і потужність підземного живлення озера Світязь теж змінилась. І, тому, найбільшу потужність живлення ми можемо спостерігати тільки в частині розлому, оскільки вона є найглибшою, а для більш плоскої ділянки акваторії потужність цього підземного живлення може бути недостатньою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кошовий В.В. Вплив сонячної активності на екологічні процеси на природо-заповідних територіях Західного Полісся: проблема чи гіпотеза? / В.В. Кошовий, О.Л. Івантишин, О.В. Альохіна та ін. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій – 2012. – № 9. – С. 294-301.
2. Influence of natural climatic factors on lakes waters fluctuations in nature protected areas / O. Alokhdina, O. Ivantysyn, M. Korus et al. // Ecological safety and natural resources. – 2018. – № 4 (28). – P. 71-81.
3. Панасюк В.В. Система комплексного екологічного моніторингу природного середовища Шацького національного природного парку / В.В. Панасюк, П.В. Юрчук, В.В. Кошовий та ін. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій – 2012. – № 9. – С. 305-313.
4. Природа Волинської області / за ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вища шк., 1975. – 147 с.
5. Тутковский П. Озеро Свитязь и народныя преданія о немъ / П. Тутковский // Киевская старина. – 1901. – № 3. – С. 144–150.
6. Dybowski B. Dwie Świtezie / B. Dybowski // Ziemia. – 1911. – № 5–9, 12–15, 17–20.
7. Lencewicz S. Mędyrzecze Bugu i Prypeci / S. Lencewicz // Przegląd geograficzny. – 1931. – Т. XI. – С. 1–72.
8. Залеський І. До генезису озера Світязь / І. Залеський // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2007. – № 4. – С. 10–13.
9. Зузук Ф. В. Вірогідність впливу розробки Хотиславського родовища крейди на заповідні екосистеми Волині / Ф. В. Зузук, В. Г. Мельничук, І. І. Залеський // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2012. – № 9. – С. 3–11.
10. Альохіна О.В. Батиметричні дослідження озера Світязь: минуле, сучасність та перспективи / О.В. Альохіна, М.М. Корусь, В.В. Кошовий та ін. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2014. – №11. – С. 24–32.

11. Муравський Л.І. Використання геоінформаційної системи Шацького національного природного парку для виявлення екологічних загроз / Л.І. Муравський, В.В. Кошовий, П.В. Юрчук та ін. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій – 2012. – № 9. – С. 16-23.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2019 і прийнята до друку після рецензування 17.03.2020

REFERENCES

1. Koshovyy, V.V., Ivantyshyn, O.L., Gorban, I.M., Alokhina, O.V., Mezentsev, V.P. & Petriv, Kh.O. (2012). Influence of Solar Activity on the Ecological Processes of the Naturally-Protected Territories of Western Polesie: Problem or Hypothesis? *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 294-301. (in Ukrainian)
2. Alokhina, O.V., Ivantyshyn, O.L., Korus M.M., Koshovyy, V.V., Popov, M.O. & Rusyn, B.P. (2018). Influence of natural climatic factors on lakes waters fluctuations in nature protected areas. *Ecological safety and natural resources*, 4 (28), 71-81.
3. Panasyuk, V.V., Yurchuk, P.V., Koshovyy, V.V., Muravskyy, L.I., Gorban, I.M., Jashchenko, P.T., Al'okhina, O.V. & Korus', M.M. (2012). A System of Complex Ecological Monitoring of the Shatsk National Natural Park Natural Environment. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 305-313. (in Ukrainian)
4. Pryroda Volynskoi oblasti (1975). Za red. K.I. Gerenchuka. Lviv: Vyshha shkola. (in Ukrainian)
5. Tutkovskij, P. (1901). Ozero Svitjaz' i narodnyja predanija o nem. *Kievskaja starina*, 3, 144-150. (in Russian)
6. Dybowski, B. (1911). Dwie Świtezie. *Ziemia*, 5-9, 12-15, 17-20. (in Polish)
7. Lencewicz, S. (1931). Mędyrzecze Bugu i Prypeci. *Przegląd geograficzny*, XI, 1-72. (in Polish)
8. Zaleski, I.I. (2007). To genesis of Svityaz Lake. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 4, 10-13. (in Ukrainian)
9. Zuzuk, F.V., Melnychuk, V.G. & Zaleski, I.I. (2012). Probability of Influence on Protected Ecosystems of Volyn of Development of Hotyslavsk Quarry of Chalk. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 3-11. (in Ukrainian)
10. Alokhina, O.V., Korus, M.M., Koshovyy, V.V., Melnyk, M.M., Muravsky, L.I., Sydoruk, I.V. & Yurchuk, P.V. (2014). Bathymetric Study of the Svityaz' Lake: the Past, the Present and Prospects. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 11, 24-32. (in Ukrainian)
11. Koshovy, V.V., Muravsky, L.I., Yurchuk, P.V., Melnychok, L.S., Alokhina, O.V., Kursish, I.Y. & Turych, V.M. (2012). Geographic Information System Structure for Nature Reserved Area Ecological Monitoring. *West Polissya Nature and Adjacent Territories*, 9, 16-23. (in Ukrainian)

The article was received 11.12.2019 and was accepted after revision 17.03.2020

Альохіна Ольга Володимирівна

кандидат технічних наук, науковий співробітник лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: alokhina2011@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-5537-2720

Корусь Микола Миколайович

інженер I категорії лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: nikkor2005@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-8014-5378

Івченко Дарія Вікторівна

молодший науковий співробітник лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: darusichka@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-6715-5782

Піць Наталія Андріївна

молодший науковий співробітник лабораторії дешифрування зображень відділу інформаційних технологій дистанційного зондування Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка

Адреса робоча: 79060 Україна, м. Львів, вул. Наукова 5

e-mail: nataliapits2011@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-1346-7166

Турич Віталій Вікторович

науковий співробітник наукового відділу Шацького національного природного парку ДАЛР України

Адреса робоча: 44021 Україна, Волинська область, с. Світязь, вул. Жовтнева

e-mail: vitaliy_turych@ukr.net

ORCID ID 0000-0003-0705-3079