

На тлі такого ставлення до робіт геологів не надихає нагородження мене медаллю «Ветеран праці» та знаком «Почесний геолог України».

Стаття надійшла до редколегії
15.10.2013 р.

УДК 551.481.1 (477.82)

О. В. Альохіна – молодший науковий співробітник Шацької екологічної лабораторії Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України;

М. М. Корусь – інженер I категорії Шацької екологічної лабораторії Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України;

В. В. Кошовий – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач Шацької міжвідомчої науково-дослідної екологічної лабораторії, завідувач відділу фізичних методів розпізнавання слабоконтрастних об'єктів у неоднорідних середовищах Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України;

М. М. Мельник – головний інженер Шацької екологічної лабораторії Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України;

Л. І. Муравський – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу оптико-електронних інформаційних систем Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка НАН України;

І. В. Сидорук – заступник директора Шацького національного природного парку Державного агентства лісових ресурсів України.

П. В. Юрчук – директор Шацького національного природного парку Державного агентства лісових ресурсів України

Батиметричні дослідження озера Світязь: минуле, сучасність та перспективи

*Роботу виконано на базі ФМІ ім. Г. В. Карпенка
НАН України та ШНПП*

У статті наведено результати хронологічного аналізу матеріалів батиметричних досліджень оз. Світязь, проаналізовано їх особливості та науково-методичну достеменність. Аргументовано доцільність проведення батиметричних досліджень на сучасному технічному рівні. Обґрунтовано методичну та матеріальну бази для їх проведення. Наведено окремі результати досліджень, можливість їх використання в суміжних галузях науки й окреслено перспективи подальших робіт. Наведено цифрові 2D- та 3D карти рельєфу дна оз. Світязь і сертифіковану і впроваджену у Шацькому національному природному парку карту глибин оз. Світязь. Доведено часову стабільність батиметричних даних озера й підтверджено незмінність максимальної глибини та берегових обрисів акваторії. Відзначені особливості двочастотної ехолокації дна озера, яка дає змогу опрацювати методику побудови карти донних осадів, що може мати практичне значення для уточнення промислових відкладів сапропелю в озерах Волині.

Ключові слова: оз. Світязь, батиметрія, карта ізобат, карта рельєфу, ехолокація, донні осади, донні джерела.

Алехина О. В., Корусь Н. Н., Кошевой В. В., Мельник М. М., Муравський Л. І., Сидорук І. В., Юрчук П. В., Батиметрические исследования озера Свитязь: прошлое, настоящее и перспективы. В статтю приведені результати хронологічного аналізу матеріалів батиметричних досліджень оз. Світязь і проаналізовані їх особливості та науково-методична достеменність. Аргументовано цілесобразність проведення таких досліджень на сучасному технічному рівні та обґрунтовано методичну та матеріальну бази для їх проведення. Приведені окремі результати досліджень, можливість їх використання в

смежних областях науки и очерчены перспективы дальнейших работ. Поданы цифровые 2D- и 3D карты рельефа дна оз. Свитязь, а также сертифицированная и внедренная в Шацком национальном природном парке карта глубин оз. Свитязь. Доказана временная стабильность батиметрических данных озера и подтверждена неизменность максимальной глубины и береговых очертаний акватории. Отмечены особенности двухчастотной эхолокации дна озера, которая позволяет обработать методику построения карты донных отложений, что, в свою очередь, может иметь практическое значение для уточнения промышленных отложений сапропеля в озерах Волыни.

Ключевые слова: оз. Свитязь, батиметрия, карта изобат, карта рельефа, эхолокация, донные отложения, донные источники.

Alokhina O. V., Korus M. M., Koshovyy V. V., Melnyk M. M., Muravsky L. I., Sydoruk I. V., Yurchuk P. V. Bathymetric Study of the Svityaz' Lake: the Past, the Present and Prospects. In the paper is presented the results of chronological analysis of bathymetric study of the Svityaz' Lake and the analysis of their characteristics and methodological reliability. A reasonability of such study, on high end technical level, was argued and methodological and resource bases for these studies are substantiated. The results of some studies and the prospects of works are outlined as well as the opportunity of their usage in related fields. A digital 2D- and 3D, which represent a base relief of the Svityaz Lake are presented as well as depth map of Svityaz' Lake, which is certified and introduced in the Shatsk National Natural Park. A temporary stability of bathymetric data of the lake is proved, and the invariance of a maximal depth and lakeside contours of water area are confirmed. Features of two-frequency echolocation of the lake bottom, which allows us to elaborate a methodology for map of bottom sediments creation, are marked. That, in turn, may have a practical importance for specifying of industrial deposits of sapropel in lakes of Volyn' region.

Key words: Svityaz' Lake, bathymetry, isobathics map, base relief map, echolocation, bottom deposits, bottom spring.

Постановка наукової проблеми та її значення. Світязь – найглибше й найбільше за об'ємом водного середовища прісноводне озеро України та Західного Полісся – належить до групи Шацьких озер. Воно розташоване на природно-заповідній території (ПЗТ) Шацького національного природного парку (НПП). У сучасних умовах значного зниження екологічної безпеки, зумовленого інтенсифікацією впливу кліматичних змін й антропогенних навантажень, має велике значення як джерело прісної води, яке потрібно зберегти, принаймні, у сучасному стані.

Одна з основних особливостей озера – відсутність зовнішніх джерел водопостачання за рахунок поверхневих вод. Основне джерело водопостачання – напірні підземні води [1]. Автори цієї статті стверджують, що притік підземних вод щороку в озеро становить 3,5 млн м³. Однак експериментально підтвержені 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, яке набуло особливого значення у зв'язку із промисловим освоєнням крейдового родовища «Хотиславське». Останнє, за оцінками українських учених [2], розкриє водонасні горизонти четвертинних і верхньокрейдяних відкладів, які є основним джерелом водопостачання та господарського використання, що може мати значний негативний вплив на водопостачання і оз. Світязь. У зв'язку із цим, як перший етап пошуку імовірних підземних джерел водопостачання оз. Світязь автори сформулювали завдання щодо створення докладної цифрової карти рельєфу (ЦКР) дна оз. Світязь.

Аналіз досліджень цієї проблеми. Перше морфометричні дослідження оз. Світязь 1899 р. провів київський учений П. Тутковський, за результатами яких він уперше опублікував його основні морфометричні параметри [3]. Дані, які отримав український учений, внесли до енциклопедії («Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона») використовували науковці різних спеціальностей у своїх дослідженнях. 1910 р. польський учений Б. Дибовський, котрий працював у Львівському університеті, провів своє дослідження озера [4], яке підтвердило основні результати, які отримав П. Тутковський.

Першою батиметричною картою озера можна вважати карту С. Ленцевича [5], опубліковану у 1931 р. У статті вченого звернуто увагу на температурні аномалії води, що пояснено наявністю донних джерел (рис. 1). 1996 р. науковці Львівського університету імені Івана Франка доповнили карту С. Ленцевича назвами окремих частин акваторії озера та навколишніх населених пунктів (рис. 2). Наступний етап батиметричних досліджень озера – публікація 2007 р. І. Залеського картосхеми [6], на якій вперше нанесено карстові лійки (рис. 3).

У 2010–2011 рр. співробітники Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України надали на Інтернет-сайті [7] інформацію про створений ними прототип макету

векторної електронної карти глибин частини акваторії оз. Світязь в околі найбільших глибин, але за станом на 15.07.2013 р. доступна інформація має лише ілюстративний характер.

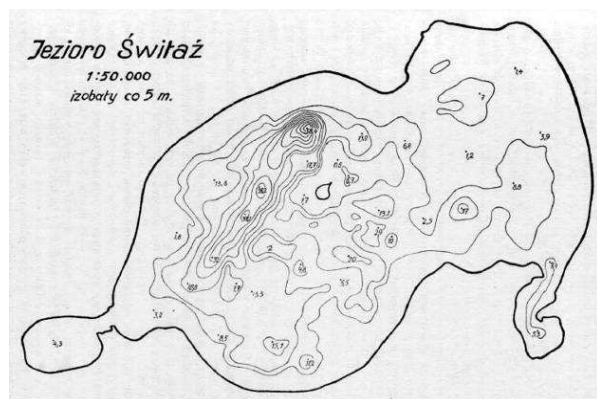


Рис. 1. Карта ізобат С. Ленцевича [5]

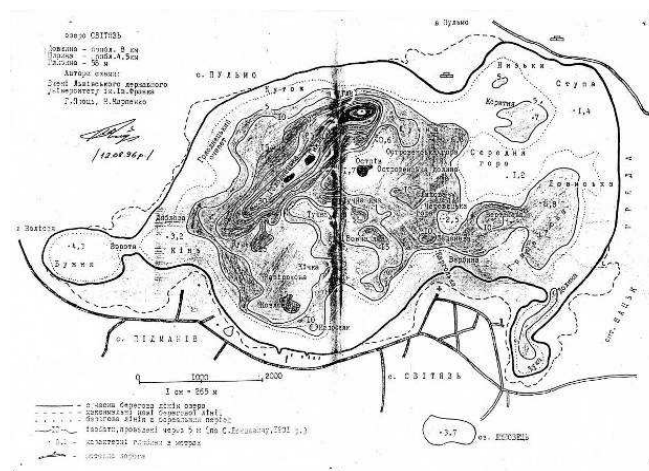


Рис. 2. Картохсхема озера Світязь (Львівський університет ім. І. Франка, 1996 р.)

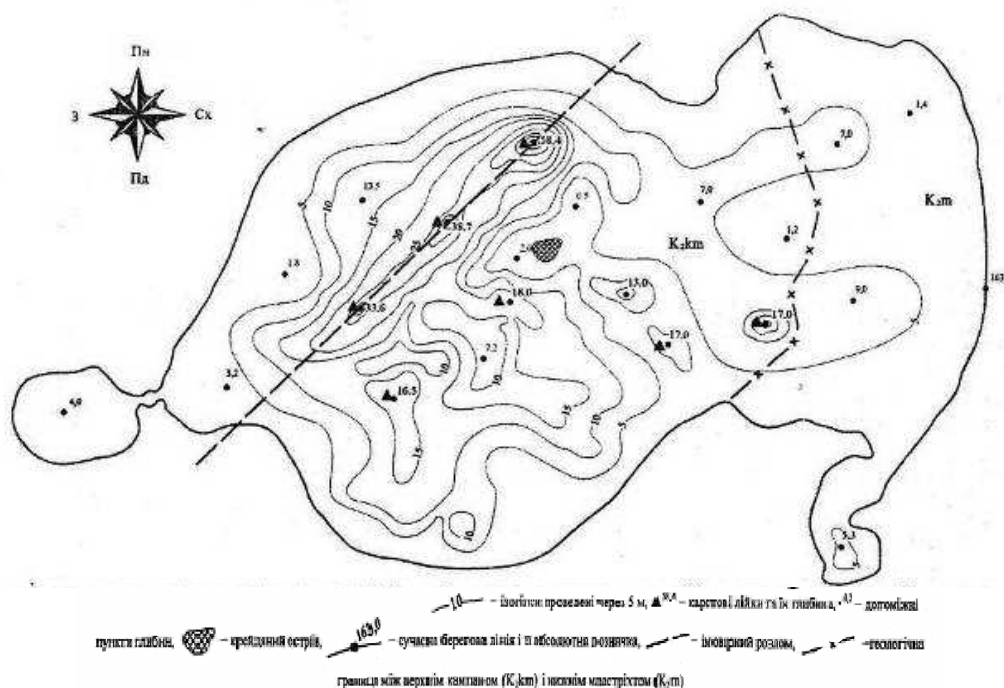


Рис. 3. Картохсхема озера Світязь. Масштаб 1:40 000 [6]

Слід відзначити велику розбіжність у результатах визначення максимальної глибини озера, отриманих різними дослідниками. Практично ніхто не проаналізував вклад товщини донних осадів у метрологію батиметричних досліджень. 2012 р. опубліковано статтю [8], у якій стверджується, що максимальна глибина озера становить 60,6 м. Однак достовірність цього результату недостатньо обґрунтована, оскільки, з одного боку, не наведені координати цієї заглибини, з іншого – немає оцінки похибки отриманого результату, яка міститься в межах інструментальної похибки використаного авторами сонара. За даними ленінградських учених (1980–1990 рр.), максимальна глибина озера мала б становити 49 м, а не 58,4 м, що дало підставу для публікацій про катастрофічне обміління озера [9] і вплинуло на деякі подальші дослідження [10].

Обміління озера можливе у двох випадках – зниження рівня води і/або «підвищення» рівня дна. Порівняння сучасних контурів берегової лінії з контурами історичних карт 100-літньої давності (рис. 4б) [11] не виявило суттєвих змін площі озера, тому залишається версія підняття дна за рахунок тектонічної діяльності або активного осідання донних відкладів. Незначні зміни берегової лінії,

за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [11], які спостерігалися за період 1988–2003 рр. (рис. 4а) [11], зумовлені збільшенням площі водного дзеркала озера за рахунок весняних паводків.

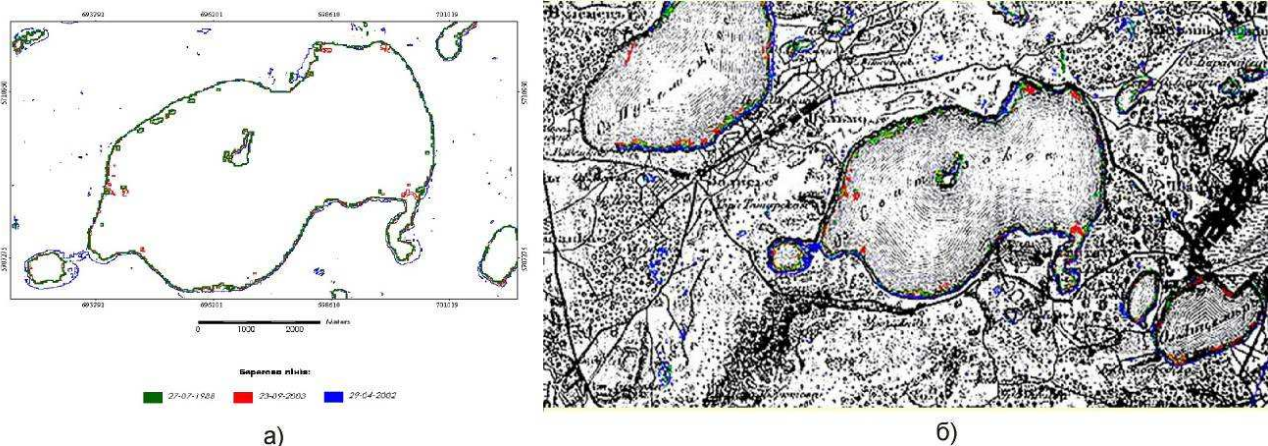


Рис. 4. Зміни берегової лінії озера Світязь [11]: а) за період 1988–2003 рр. (за даними ДЗЗ); б) за період 1855–2003 рр. (за даними ДЗЗ і топокартою 1855 р.)

Формулювання мети та завдань статті. Викладене вище підтверджує доцільність проведення більш ґрунтовних, багатопланових батиметричних досліджень оз. Світязь на сучасному науковому й технічному рівнях, результати яких були б придатні для подальшого практичного використання. Науковці Шацької екологічної лабораторії Фізико-механічного інституту імені Г. В. Карпенка (ФМІ) НАН України та організації створеної на її базі Шацької міжвідомчої науково-дослідної екологічної лабораторії (МНДЕЛ) [12], зокрема Шацького НПП, упродовж останніх десяти років активно проводять фізико-хімічні та батиметричні дослідження озер Шацького НПП, зокрема й батиметричні дослідження оз. Світязь [13; 14].

Для досягнення кінцевої мети досліджень, а саме локалізації підземних джерел водопостачання оз. Світязь через створення на першому етапі докладної ЦКР дна озера, у цій роботі автори сформулювали низку першочергових завдань: провести докладне ехолокаційне зондування дна по всій акваторії озера, за результатами якого сформувати базу батиметричних даних, побудувати ЦКР дна й умонтувати її у структуру географічної інформаційної системи (ГІС) Шацького НПП [19], створити сертифіковану, згідно з геодезичними вимогами, карту глибин оз. Світязь, придатну для практичного використання.

Матеріали й методи дослідження. Дно оз. Світязь не являє собою «тарілку», характерну для більшості озер Шацького НПП. Його рельєф складний, присутні і мілини, і западини, так звані «тоні» з різними глибинами. 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 всю акваторію оз. Світязь із максимально можливим дотриманням однакових кліматичних умов під час їх реалізації.

З урахуванням цих вимог автори розробили методику батиметричних досліджень із використанням ехолокатора (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-каналний приймач GPS/WAAS стандарту NMEA 2000, оновлення координат – щосекунди, похибка визначення координат не більше 10 м. Отримані дані записують на MMS-карту ємністю пам'яті до 1 Гбт.

Вибрана просторова дискретність вимірювань урахувала відносно малу швидкість 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.

Докладне вивчення карстових лійок і донних відкладів вимагає тривалих досліджень на озері. Для їх транспортного забезпечення у ФМІ НАН України створено плавучу екологічну лабораторію (ПЕЛ) на базі катамарана «Аргонавт-6» (рис. 5), оснащену електродвигуном, батиметричною лебідкою з батометром Молчанова, ехолотом, рН-метром і кондуктометром. ПЕЛ можна фіксувати в по-

трібній точці акваторії за допомогою трьох якорів, і, за потреби, плавно пересуватися для детального зондування окремих ділянок дна, працювати в комфортних і безпечних умовах.



Рис. 5. Плавуча екологічна лабораторія на базі катамарана «Аргонавт – 6»

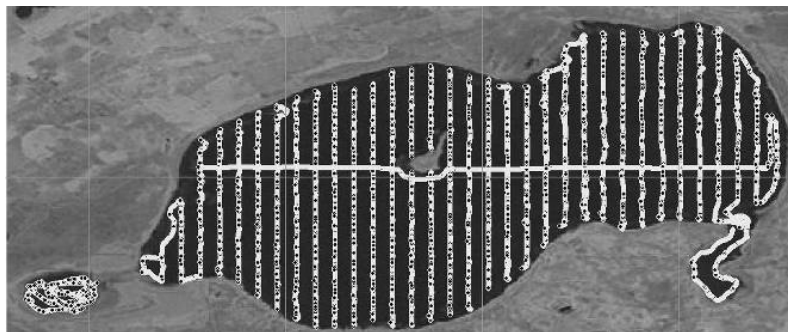


Рис. 6. Треки батиметричних вимірювань на акваторії оз. Світязь

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Для складання ЦКР дна і створення сертифікованої карти глибин оз. Світязь спочатку проведені вимірювання по всій акваторії озера глибиною > 0,4 м, за винятком густих заростей очерету. Дискретність вимірювань довготи складала приблизно 200 м, широти 2–3 м (рис. 6). На другому етапі розпочато докладне дослідження окремих частин акваторії, зокрема найглибшої Глибинної тоні.

За результатами УЗ зондування дна на частоті 250 кГц і опрацювання даних ехограм отримано близько 350 тис. точок для оцінювання глибин. Дані виокремлені в декілька груп за певними ознаками. Зокрема, зведено в один файл усі дані по затоці Бужня, оскільки вона зазнає менше антропогенне навантаження і може слугувати порівняльною базою для дослідження евтрофікаційних процесів в озері.

За результатами роботи вперше побудовані ЦКР дна та карти ізобат усієї акваторії оз. Світязь і, в більшому масштабі, її окремих частин: затоки Бужня (рис. 7, 8), найглибшої частини озера, що включає в себе чотири «тоні» (рис. 9, 10), та визначені координати карстових ліжок можливої локалізації підземних джерел (рис. 11, табл. 1).

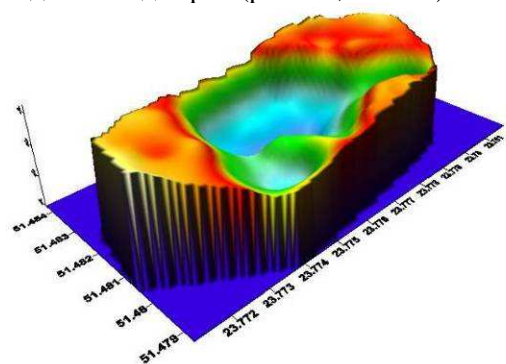


Рис. 7. Рельєф дна затоки Бужня

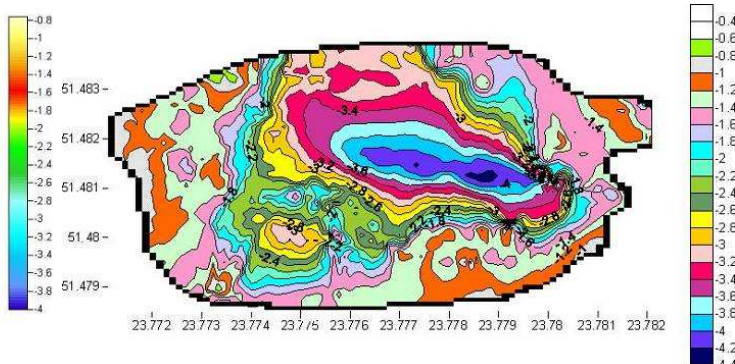


Рис. 8. Карта ізобат затоки Бужня

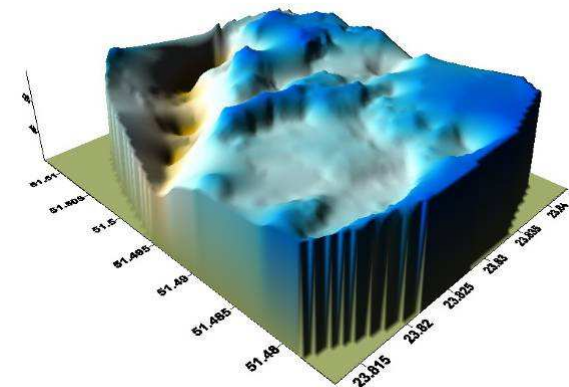


Рис. 9. Рельєф дна найглибшої частини озера

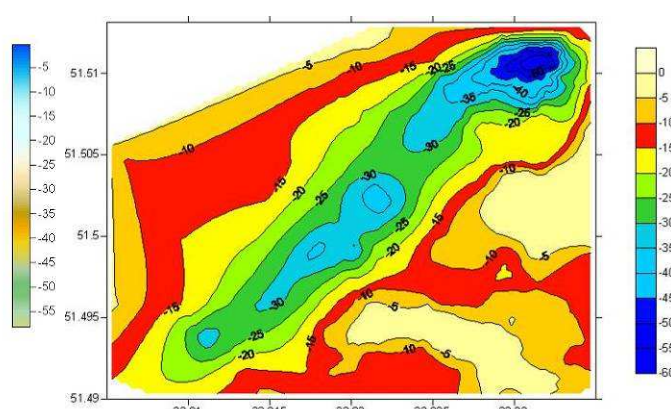


Рис. 10. Карта ізобат найглибшої частини озера Світязь



Рис. 11. Локалізація карстових ліжок можливого знаходження підземних джерел на оз. Світязь (знімок Google maps)

Таблиця 1

Координати карстових ліжок оз. Світязь

| Номер на карті | Назва | Глибина, м | Кординати | |
|----------------|-------------|------------|--------------|--------------|
| | | | пн. ш | сх. д |
| 1 | Глибинна | 58,4 | 51°30'34,32" | 23°49'55,04" |
| 2 | Гнила | 38,0 | 51°30'4,76" | 23°49'21,53" |
| 3 | Чортова | 37,0 | 51°29'53,11" | 23°49'7,89" |
| 4 | Голоднецька | 32,0 | 51°29'35,00" | 23°48'46,29" |
| 5 | Щуча | 14,0 | 51°30'30,06" | 23°50'39,57" |
| 6 | Вовча | 20,0 | 51°29'35,28" | 23°50'27,01" |
| 7 | Козлова | 17,0 | 51°28'52,14" | 23°49'30,43" |

Примітка: наведені назви ліжок не офіційні, в літературі трапляються і інші найменування.

За результатами батиметричних вимірювань створено ЦКР дна оз. Світязь (рис. 12а–12д), умонтовану в ГІС Шацького НПП.

На рис. 12, на картах зліва, наведено трансект, проведений через найглибшу частину оз. Світязь і ЦКР із накладеними ізолініями (рис. 12а) та ізотермами (рис. 12б). Права частина рис. 12 відображає просторові, уздовж виділеного засобами ГІС трансекту, розподіли глибин (рис. 12в) і температур поверхні води (літніх, рис. 12г) і (осінніх, рис. 12д). Температури поверхневого шару води були розраховані на основі космічного знімку із супутника Landsat 8.

ГІС-аналіз даних показав, що для заглибини 2 (рис. 12а) з 09.08.2013 р. до 28.10.2013 р. відбулося зменшення температури в поверхневому шарі води на 11,94 °С; для найбільшої заглибини 3 (рис. 12а) – на 11,91 °С; для заглибини 1 (рис. 12а) – на 11,90 °С (рис. 13).

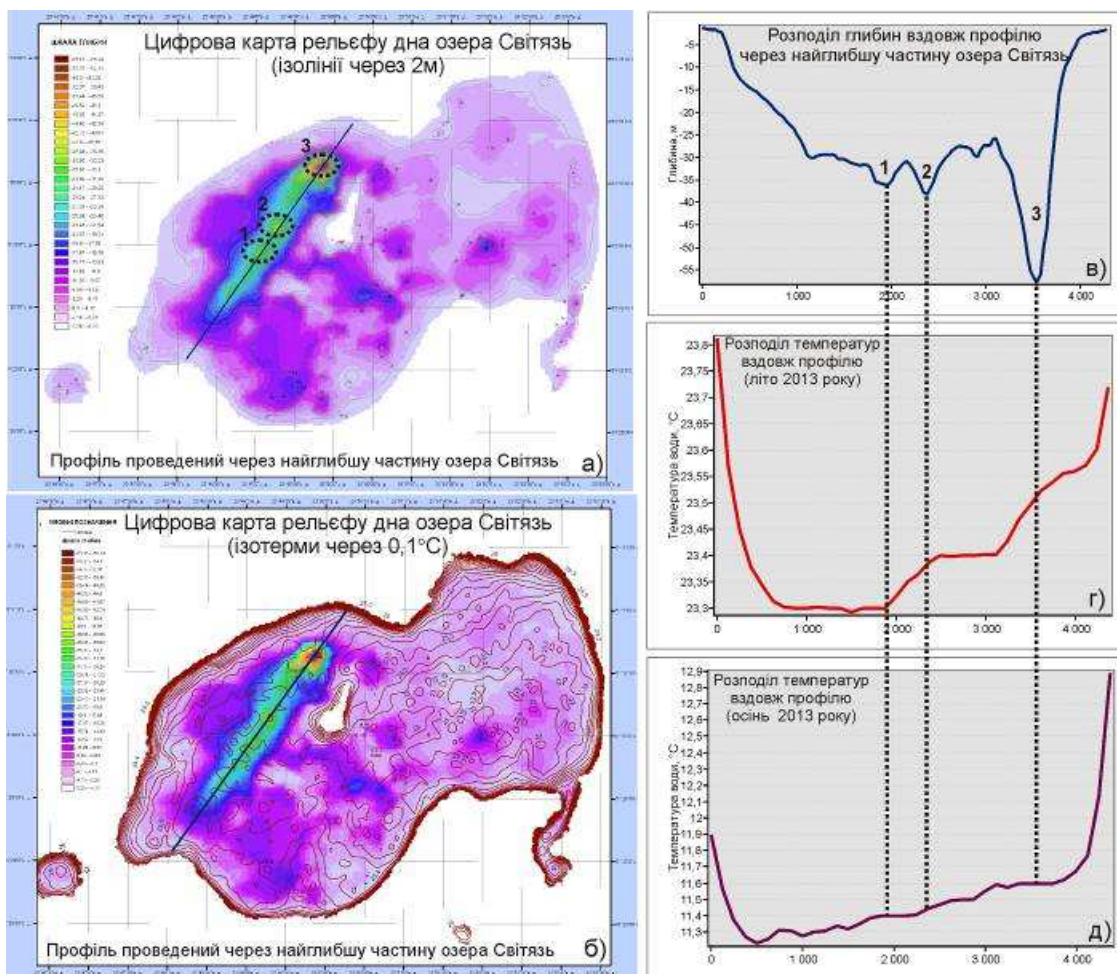


Рис. 12. Цифрова карта рельєфу дна озера: а) ізолінії через 2 м; б) ізотерми через 0,1 °С; в) профіль глибин уздовж трансекту через найглибшу частину оз. Світязь; г) літній розподіл температур уздовж трансекту через найглибшу частину оз. Світязь (09.08.2013 р.), г) осінній розподіл температур уздовж трансекту через найглибшу частину оз. Світязь (28.10.2013 р.)

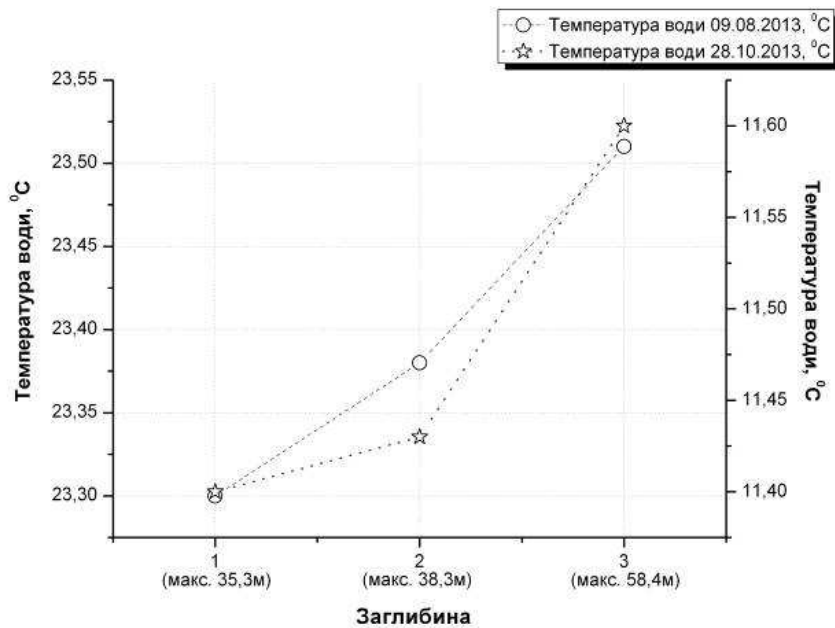


Рис. 13. Зміни температурного режиму поверхневих шарів води для трьох різних заглибин озера Світязь

Отримана ЦКР, у поєднанні з програмним комплексом ArcGis 9.2, у яку вона була створена, дасть змогу аналізувати геологічні та морфологічні особливості рельєфу дна оз. Світязь, зокрема через побудову рельєфних профілів у довільно обраному напрямі, й отримувати додаткову інформацію, потрібну для розроблення методик подальшого пошуку підводних джерел водопостачання озера. За результатами батиметричних вимірювань на основі створеної цифрової карти рельєфу дна вперше створено сертифіковану та впроваджену в Шацькому НПП карта глибин (1:10 000) оз. Світязь та його заток (рис. 14).

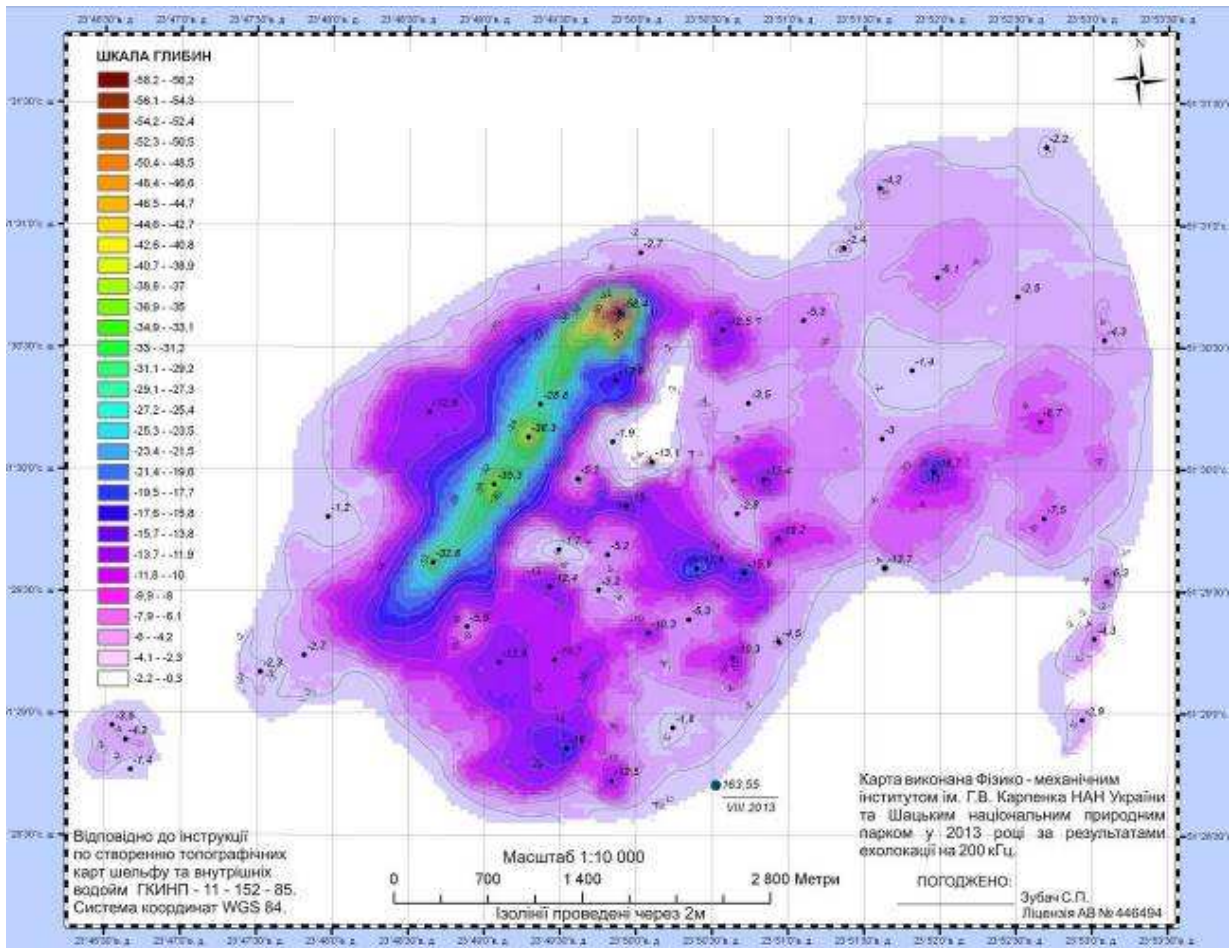


Рис. 14. Карта глибин оз. Світязь

Наведені вище результати отримані при зондуванні на частоті 200 кГц, яка є оптимальною для батиметричних досліджень водойм із дном із твердих гірських порід. Однак для оз. Світязь характерним є інтенсивний розвиток макрофітної рослинності, що сприяє утворенню донних осадів, які, залежно від їх товщини, дещо спотворюють результати вимірювання глибини на частоті 200 кГц, оскільки слабше відбивають та інтенсивно поглинають УЗ хвилі. Тому в даних дослідженнях розпочато УЗ зондування дна озера на частоті 50 кГц. УЗ хвиля цієї частоти проникає глибше поверхневого шару донних відкладів. Порівняння різночастотних ехограм дасть змогу розробити методику для уточнення карти глибин озера і створення карти товщин його донних відкладів. Для ілюстрації: на рис. 15 вертикальним прямокутником виділено досліджувану ділянку дна, а в горизонтальних прямокутниках вказані виміряні глибини (різниця склала 2,5 м).

Висновки й перспективи подальших досліджень. 1. Проведене вперше метрологічно обґрунтоване ультразвукове зондування дна по всій акваторії оз. Світязь, яке показало практичну незмінність рельєфу його дна за останні 100 років.

2. За результатами батиметричних досліджень оз. Світязь уперше побудовані цифрові карти рельєфу дна, карти ізобат усієї акваторії, умонтовані в ГІС Шацького НПП, визначені координати

карстових лійок можливої локалізації підземних джерел, створено сучасну базу батиметричних даних і сертифіковано карту глибин (1:10 000), придатну для практичного використання.

3. Закладено інформаційну основу для тривалих спостережень наслідків природного й антропогенного впливу на екосистему оз. Світязь та для пошуку підземних джерел його водопостачання.

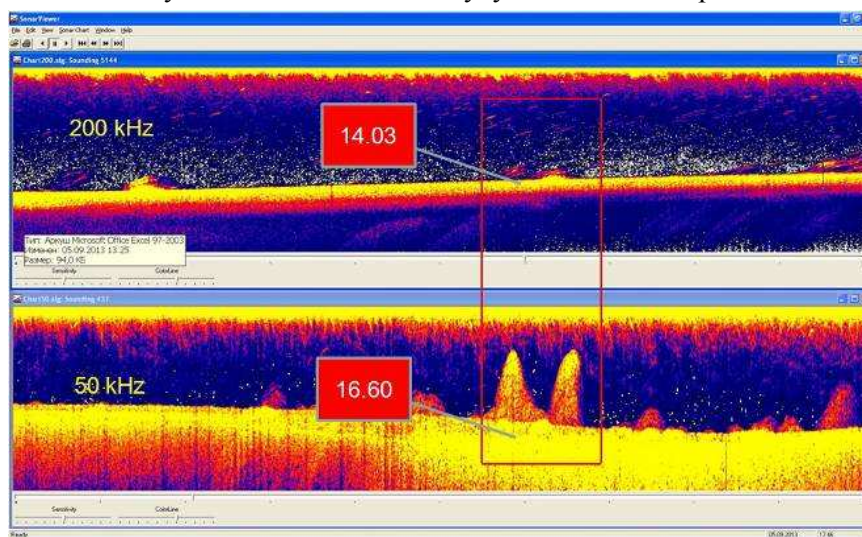


Рис. 15. Ехограми на частотах 50 кГц та 200 кГц

Джерела та література

1. Природа Волинської області / за ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вища шк., 1975. – 147 с.
2. 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.
3. Тутковский П. Озеро Свитязь и народныя преданія о немъ / П. Тутковский // *Кіевская старина*. – 1901. – № 3. – С. 144–150.
4. Dybowski B. Dwie Świtzezie / B. Dybowski // *Ziemia*. – 1911. – № 5–9, 12–15, 17–20.
5. Lencewicz S. Mędyrzecze Bugu i Prypeci / S. Lencewicz // *Przegląd geograficzny*. – 1931. – Т. XI. – С. 1–72.
6. Залеський І. До генезису озера Світязь / І. Залеський // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. – 2007. – № 4. – С. 10–13.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://geoportal.in.ua/article.php?article_id=35
8. Choiński A. Zmiana batymetrii jeziora Świtaz w latach 1929–2012 / A. Choinski, L. Pyin, M. Ptak, A. Strzelczak // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. – Луцьк, 2012. – № 9. – С. 55–59.
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.citylife.com.ua/index.php?id=34&tid=383&art=561>
10. Стеценко Л. Альгофлора озер Шацького національного природного парку / Л. Стеценко // *Заповідна справа в Україні*. – 1999. – Т. 5, вип. 1. – С. 43–47.
11. Розробка методів моніторингу локальних екосистем Шацького національного природного парку з використанням наземних спостережень, цифрової кольорометрії та аналізу космознімків // *Звіт про НДР*. – № держреєстрації 0105U004311. – Львів : Фіз.-механ. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2008. – 514 с.
12. Панасюк В. В. Шацька міжвідомча науково-дослідна екологічна лабораторія: організація та програма діяльності / В. В. Панасюк, В. С. Найда, В. І. Лялько та ін. // *Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Геогр. науки*. – 2009. – № 1. – С. 116–122.
13. Розроблення методів і засобів комплексного моніторингу стану і динаміки змін локальних екосистем заповідних територій з метою забезпечення їх екологічної стабільності // *Звіт про НДР*. – № держреєстрації 0109U002659. – Львів : Фіз.-механ. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2011. – 430 с.
14. Сопрунюк П. М. Вимірювання батиметричних характеристик озера Світязь / П. М. Сопрунюк, М. М. Мельник // *Відбір і обробка інформації*. – 2011. – Вип 35 (111). – С. 90–95.
15. Муравский Л. И. Использование данных дистанционного зондирования Земли для формирования географической информационной системы биосферного резервата «Шацкий» / Л. И. Муравский, О. Т. Олійник, О. В. Алёхина, В. В. Кошевой, Ю. И. Гаскевич // *Уч. зап. Тавр. нац. ун-та им. В. И. Вернадского*. – 2008. – Т. 21 (60), № 1. – С. 87–96.

Стаття надійшла до редколегії
08.10.2013 р.