

Національна академія наук України

ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО
ПРОСТОРУ

Трофимчук О. М., Триснюк В. М., Анпілова Є. С., Бутенко О. С.,
Вишняков В. Ю., Загородня С. А., Клименко В. І., Ключко Т. О.,
Красовська І. Г., Крета Д. Л., Миронцов М. Л., Охарєв В. О., Попова М. А.,
Радчук І. В., Триснюк Т. В., Шевякіна Н. А., Шумейко В. О.

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ:
МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ**

Монографія

Івано-Франківськ
2022

УДК 556.532(477-924.52)

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України як монографію, протокол від 15 вересня 2021 р., № 7

Рецензенти

Адаменко О. М. – доктор геолого-мінералогічних наук, професор Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ

Мальований М. С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів

Трофимчук О. М., Триснюк В. М., Анпілова Є. С., Бутенко О. С., Вишняков В. Ю., Загородня С. А., Клименко В. І., Ключко Т. О., Красовська І. Г., Крета Д. Л., МIRONЦОВ М. Л., Охарєв В. О., Попова М. А., Радчук І. В., Триснюк Т. В., Шевякіна Н. А., Шумейко В. О.

Геоінформаційні дослідження водних екосистем України: моніторинг та прогнозування. – Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2022. – 212 с.

ISBN 978-617-8128-10-4

Проведено комплексну оцінку та прогнозування стану водних екосистем України на основі експедиційних експериментальних досліджень 2009–2020 років. Проаналізовано екологічний стан компонентів довкілля – геологічного середовища, геофізичних полів, геоморфосфери, гідро- та атмосфери, ґрунтового та рослинного покривів, тваринного світу, техносфери та демосфери на досліджуваних територіях. У монографії відображені дистанційні методи моніторингу, математичне моделювання, прогнозування та оцінки інтенсивності антропогенного навантаження на лімнологічні системи. Для науковців, державних установ та організацій, природоохоронних, директивних органів, студентів, аспірантів, докторантів.

УДК 556.532(477-924.52)

ISBN 978-617-8128-10-4

©Трофимчук О.М., Триснюк В.М., 2022
©Інститут телекомунікацій і
глобального інформаційного простору
НАНУ, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМАТИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ.....	15
1.1. Теоретичні засади моніторингу та оцінки екологічного стану озер України.....	19
1.2. Фізико-географічні особливості функціонування досліджуваних лімнологічних екосистем	26
1.3. Закономірності процесів техногенного та антропогенного впливу на екологічний стан водних об'єктів	31
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПІДХОДИ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	39
2.1. Контактні методи моніторингу гідрохімічних і гідробіологічних показників води в лімнологічних системах	39
2.2. Ехолокаційна батиметрія в задачах дослідження підводного рельєфу та моніторингу динаміки водного балансу озер	50
2.3. Математичне моделювання та прогнозування впливу антропогенних факторів на лімноекосистеми	55
РОЗДІЛ 3. КОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ.....	65
3.1. Особливості формування фонду архівних і оперативних космічних знімків для дослідження водних об'єктів України	65
3.2. Дистанційні методи моніторингу та оцінки інтенсивності антропогенного навантаження на лімнологічні системи	67
3.3. Космічний моніторинг евтрофікаційних процесів в акваторіях лімнологічних систем.....	78
3.4. Технології космічного моніторингу батиметрії озерних акваторій	85
РОЗДІЛ 4. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ГІДРОЕКОСИСТЕМ	91
4.1. Оцінка та прогноз природно-ресурсного потенціалу гідроекосистем на основі геоінформаційних технологій.....	91
4.2. Впровадження батиметрії для побудови 3D-моделей лімнологічних об'єктів.....	94
4.3. Формування паспорту лімнологічного об'єкту	98

РОЗДІЛ 5. ГЕОГРАФІЯ ЕКСПЕДИЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
ГІДРОЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ	114
5.1. Дослідження Кременчуцького водосховища.....	114
5.2. Лімнологічні екосистеми українського Полісся	121
5.3. Озера Українських Карпат (НПП «Синевир»)	147
5.4. Гідроєкосистеми на урбанізованих територіях	154
5.5. Експедиційні дослідження Дністровського каньйону	162
5.6. Засновники та організатори експедиційних досліджень	169
ВИСНОВКИ	175
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	178

ТЕРМІНИ І СКОРОЧЕННЯ

АЕС – атомна електростанція
БД – база даних
БСК – біохімічне споживання кисню
ВБУ – водно-болотні угіддя
ГДК – гранично допустима концентрація
ГЕС – гідроелектростанція
ГІС – геоінформаційна система (геоінформаційні системи)
ДСК – Декартова система координат
ДЗЗ – дистанційне зондування Землі
ДП – діелектрична проникність
ЕС – екосистема
ІЧ – інфрачервоний діапазон
КДВ – коефіцієнт дифузного відбиття
КДЗВ – коефіцієнт дзеркального відбиття
КІТ – когнітивна інформаційна технологія
КСЯ – коефіцієнт спектральної яскравості
НВЧ – надвисокочастотне випромінювання
НПП – національний природний парк
НС – надзвичайна ситуація
ПГХ – первинні гідрооптичні характеристики
ПЗ – природний заповідник
СЕВ – спектр електромагнітного випромінювання
ХСК – хімічне споживання кисню
ЦМР – цифрова модель рельєфу
ЦММ – цифрова модель місцевості
ШСЗ – штучний супутник Землі
ЯМР – метод ядерного магнітного резонансу

ВСТУП

Стан і відновлення водних ресурсів та забезпечення суспільства якісною питною водою на сьогоднішній день є не лише однією з ключових екологічних проблем, а й загалом посідає місце серед найбільш актуальних викликів для людства. Забруднення річок та озер – всесвітня проблема, що стосується як розвинених країн, так і країн, що розвиваються. Дослідження лімносистем зумовлене значною часткою водойм у просторовій структурі ландшафтів України, посиленою антропогенною та природною трансформацією лімнокompлексів локального та регіонального рівнів, відсутністю комплексної характеристики, слабкою вивченістю закономірностей функціонування водойм. Про збереження водних ресурсів сьогодні говорять на найвищому міжнародному рівні. Відповідно до Глобальних цілей сталого розвитку на 2015–2030 рр., а саме шостої цілі – чиста вода та належні санітарні умови, 41 країна зіткнулася з дефіцитом води та 10 з них фактично виснажили свої запаси поновлюваних ресурсів прісної води й тепер повинні покладатися на альтернативні джерела. Посилення посух і опустелювання дедалі погіршують ці тенденції. За прогнозами провідних міжнародних експертних організацій, до 2050 року постійний дефіцит води впливатиме щонайменше на кожного четвертого жителя планети [1]. В Україні Указом Президента України від 30 липня 2021 року введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України щодо водних ресурсів України, основна ціль якого – забезпечення українців доступом до якісної питної води. Гідрологічні спостереження на водних об'єктах мають бути комплексними та проводитися з різною періодичністю: спостереження за витратою та рівнем води в річках, за її мутністю та стоком завислих наносів (переважно мінеральних часток, зважених в річкових водах), хімічним складом, температурним і льодовим режимами річкових вод і т.д. Відповідно, визначення особливостей антропогенного навантаження на прісноводні ресурси України має забезпечувати оцінку фактичного стану природного середовища, прогноз зміни його стану під впливом чинників антропогенної дії та оцінку прогнозованого стану природного середовища. Інформаційна підтримка рішень з питань екологічної безпеки водного фонду на об'єктовому, регіональному та національному рівнях визначає обсяги фундаментальних і прикладних гідроакустичних досліджень [2, 3], серед яких вивчення рельєфу дна, дослідження складу та властивостей донних ґрунтів і осадових порід, акустичної взаємодії водної товщі та дна, створення геолого-акустичних моделей окремих районів, а також створення ехолотних інформаційно-аналітичних технологій, під якими мається на увазі цілісний процес збору,

обробки та доставки інформації споживачу. Науковцями Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України спільно з зацікавленими організаціями за період 2009–2020 років здійснено низку досліджень більшості найзначніших лімнологічних екосистем України (Кременчуцьке водосховище, озера Синевир, Озірце, Світязь, Нобель, Біле, Люб'язь, Вербне, затока «Бакота», Дністровський каньйон, Тернопільський став тощо) в форматі наукових експедицій. Започатковано експедиційні дослідження Директором Інституту професором, членом-кореспондентом НАНУ Трофимчуком О.М. Науковими керівниками експедиційних досліджень були професор, доктор технічних наук Красовський Г.Я. та доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу досліджень навколишнього середовища Радчук В.В. Досліджувані гідроекосистеми сформувалися навколо озер природного та штучного походження. В рамках проведених робіт було здійснено аналіз науково-методологічних основ комплексного оцінювання інтенсивності та характеру техногенного та антропогенного впливу на стан лімноекосистем України. Використовуючи контактні і дистанційні методи, створено картографічні моделі техногенного та антропогенного навантаження на локальні лімнологічні системи. Було розроблено 3D-моделі акваторій та берегових ліній цих систем з відображенням особливостей та основних параметрів функціонування їх екосистем. Для цього було залучено сучасний інструментарій та технології геоінформаційних систем (ГІС, у даному випадку – ArcGIS). Вдосконалено технології моніторингу динаміки водного режиму озер шляхом побудови батиметричних карт озер за результатами гідроакустичних вимірів та дешифрування космічних знімків. Комплексно застосовані методики відбору й обробки інформації за допомогою ГІС-технологій (тематичну класифікацію результатів дистанційного зондування в умовах обміну даними наземних звірок та незалежними ознаками об'єктів) з приведенням результатів до вигляду, зручного для інтерпретації. Відповідно, визначено особливості антропогенного навантаження на прісноводні ресурси України, розроблено підходи до оцінки інтенсивності даного процесу, що є актуальним науково-практичним завданням. Авторами в 2009–2020 рр. було здійснено низку досліджень водних об'єктів на території України в форматі наукових експедицій, результати яких впроваджені в державних органах управління природокористуванням, екологічною безпекою та охороною навколишнього природного середовища (рис. 1.2–1.3). Гідроекосистеми, що досліджувались авторами, сформувалися навколо озер (лімнологічні системи) переважно природного, але також і штучного походження. Дані щодо організаційної структури експедиційних досліджень та відомості про науково-дослідний склад експедиційних досліджень представлені на рисунку 1.1 і в таблиці 1.1.



Рисунок 1.1. Схема організаційної структури експедиційних досліджень



Рисунок 1.2. Фото учасників експедиційних досліджень озер Шацької групи (НПП «Шацький», 2011 рік)



Рисунок 1.3. Фото учасників експедиційних досліджень р. Дністер, затоки Бакота (НПП «Подільські товтри», 2019 рік)

Відомості про науково-дослідний склад експедиційних досліджень 2009–2020 років

Об'єкт експедиційних досліджень	Період	Завдання	Склад експедиційної групи
1	2	3	4
Кременчуцьке водосховище	20–25 липня 2009 року	Збір первинних даних про екологічний стан складових довілля верхів'я Кременчуцького водосховища.	Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Клименко В.І., Радчук І.В., Крета Д.Л., Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Красовська І.Г., Клочко Т.О.
Озера Шацької групи, в тому числі озеро Свігіз	01–08 серпня 2010 року	Створення еталону оптичних характеристик поверхневих вод України для розробки сучасних методів і технологій тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів суходолу, як джерел комплексного водокористування.	Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Клименко В.І., Радчук І.В., Крета Д.Л., Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Мокрий В.І., Вишняков В.Ю., Андреев С.М., Красовська І.Г., Бутенко О.С.
Озера Шацької групи, в тому числі озеро Свігіз	1–7 серпня 2011 року	Збір первинних даних гідрологічних, гідробіологічних, гідрооптичних, гідроелектричних і гідрохімічних показників водних мас озера Свігіз і прилеглих озер.	Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Клименко В.І., Радчук І.В., Крета Д.Л., Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Аннілова Є.С., Мокрий В.І., Вишняков В.Ю., Андреев С.М., Красовська І.Г., Бутенко О.С.

Озеро Нобель	06–10 серпня 2012 року	Збір первинних даних про екологічний стан складових докільля озера Нобель.	Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Клименко В.І., Радчук І.В., Крета Д.Л., Попова М.А., Атрасевич О.В., Шевякіна Н.А. Шумейко В.О., Вишняков В.Ю.
Озеро Нобель	4–11 серпня 2013 року	Збір даних про екологічний стан складових докільля озера Нобель.	Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Клименко В.І., Радчук І.В., Крета Д.Л., Попова М.А., Атрасевич О.В., Шумейко В.О., Вишняков В.Ю.
Озеро Синевир, озеро Озірце	9–13 вересня 2014 року	Збір даних про екологічний стан складових докільля, батиметричні дослідження озера Синевир та озера Озірце.	Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Радчук І.В., Охарев В.О., Миронцов М.Л., Атрасевич О.В.
Озеро Люб'язь	7–14 жовтня 2014 року	Збір даних про екологічний стан складових докільля, батиметричні дослідження озера Люб'язь.	Радчук І.В., Охарев В.О., Триснюк Т.В.
Озеро Люб'язь, озеро Біле	20 липня – 2 серпня 2015 року	Збір даних про екологічний стан складових докільля, батиметричні дослідження озера Люб'язь та озера Біле.	Радчук В.В., Радчук І.В., Загородня С.А., Охарев В.О., Попова М.А.
Озеро Синевир	21–26 вересня 2015 року	Збір даних про екологічний стан складових докільля, батиметричні дослідження озера Синевир та озера Озірце.	Радчук В.В., Радчук І.В., Охарев В.О., Загородня С.А.

Озеро Біле	10–15 червня 2016 року	Батиметричні дослідження озера Біле та території Рівненського природного заповідника, а саме Білоозерської ділянки.	Радчук І.В., Попова М., Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Охарев В.О.
Озеро Люб'язь	9–21 червня 2017 року	Проведення батиметричних дослідження озера Люб'язь. Верифікація даних натурних досліджень з даними, що отримані при дешифруванні космічних знімків в період досліджень.	Радчук В.В., Радчук І.В., Триснюк Т.В., Охарев В.О.
Тернопільський став	25 травня – 3 червня 2017 року	Проведення батиметричних досліджень Тернопільського ставу, м. Тернопіль.	Радчук І.В., Триснюк В.М., Триснюк Т.В., Охарев В.О.
Озеро Люб'язь	1–5 серпня 2017 року	Здійснення батиметричної зйомки озера Люб'язь. Експедиційні дослідження водних об'єктів Національного природного парку «Прип'ять – Стохід».	Радчук В.В., Радчук І.В., Триснюк Т.В., Загородня С.А.
Озеро Люб'язь	11–15 вересня 2017 року	Здійснення батиметричної зйомки озера Люб'язь, дослідження ключового елементу гідроекосистеми, що є ядром національного природного парку «Прип'ять – Стохід».	Радчук В.В., Радчук І.В., Триснюк Т.В., Охарев В.О.

Дністровський каньйон, Бакотська затока	11–17 липня 2018 року	Забезпечення послідовності і безперервності досліджень екосистеми Дністровського каньйону з використанням сучасних методів і технологій тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів. Побудова батиметричних карт водних об'єктів. Експедиційні дослідження зі збору первинних даних на території НПП «Подільські Товтри», екосистема Дністровського каньйону.	Трофимчук О.М., Радчук В.В., Клименко В.І., Радчук І.В., Крета Д.Л., Загородня С.А., Шевякіна Н.А.
Дністровський каньйон, Бакотська затока	14–18 вересня 2018 року	Забезпечення послідовності і безперервності досліджень екосистеми Дністровського каньйону з використанням сучасних методів і технологій тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів. Побудова батиметричних карт. Експедиційні дослідження зі збору первинних даних на території НПП «Подільські Товтри», екосистема Дністровського каньйону.	Красовський Г.Я., Радчук В.В., Радчук І.В., Охарев В.О., Вишняков В.Ю., Триснюк В.М.

Дністровський каньйон, Бакотська затока	22–28 липня 2019 року	Забезпечення послідовності і безперервності досліджень екосистеми Дністровського каньйону з використанням сучасних методів і технологій тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів. Побудова батиметричних карт. Експедиційні дослідження зі збору даних на території НПП «Подільські Товтри», екосистема Дністровського каньйону. II експедиційна школа-семинар «Сучасні технології моніторингу та оцінки стану екосистем».	Трофимчук О.М., Клименко В.І., Радчук І.В., Крета Д.Л., Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Дроздович І.Г., Триснюк В.М., Триснюк Т.В., Вишняков В.Ю.
Дністровський каньйон, Бакотська затока	18–24 липня 2020 року	Забезпечення послідовності і безперервності досліджень екосистеми Дністровського каньйону з використанням сучасних методів і технологій тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів. Експедиційні дослідження зі збору даних на території НПП «Дністровський каньйон».	Триснюк В.М., Охарєв В.О., Триснюк Т.В., Шумейко В.О., Курило А.В., Голован Ю.М.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМАТИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

Моніторинг екологічної ситуації прісних водойм виявляє найгострішу проблему сьогодення – дефіцит питної води. Лімнологічні, тобто озерні, системи є складовою частиною всесвітнього резервуару прісної води, і стан цих об'єктів має прямий вплив на здоров'я та тривалість життя не лише людини, а й усіх живих організмів.

Вода, як природний ресурс Землі, повинна бути збережена на користь сучасного та майбутніх поколінь. Залежність суспільства від водних ресурсів зростає, підвищуються вимоги до їхньої якості. Поверхневі води є стратегічним відновлюваним природним ресурсом України і при цьому є основою її екологічного благополуччя [4, 5]. Широке комплексне використання водних об'єктів має значні негативні наслідки, і насамперед – екологічні, оскільки відходи промисловості, сільськогосподарського виробництва, побутові та іншого походження спричиняють значне забруднення водних ресурсів. Головною метою Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЕС визнано запобігання подальшому погіршенню, захист та покращення стану водних екосистем за допомогою провідних методів моніторингу водних об'єктів [6]. Проведення постійного та системного моніторингу, насамперед на основі технологій ДЗЗ та ГІС-технологій, дозволяє своєчасно зафіксувати виникнення джерела забруднення та схвалити необхідні рішення щодо проведення заходів із його ліквідації. Таким чином, виникає необхідність розвитку методології моніторингу об'єктів навколишнього середовища шляхом інтеграції міждисциплінарних методів аналізу даних дешифрування космознімків і лабораторно-польових вимірювань, ідентифікації інтегральних параметрів і встановлення причинно-наслідкових зв'язків виникнення екологічних загроз для екологічно безпечного управління водними екосистемами. На сьогоднішній день будь-які фундаментальні та прикладні наукові дослідження все більше потребують наочності у поданні їх результатів. Існує достатня кількість програмних пакетів, що дозволяють моделювати навколишнє середовище з високим ступенем достовірності та фотореалістичним графічним втіленням. Але, оскільки досліджувані процеси та системи мають чітку просторову прив'язку, виникає необхідність всебічної інтеграції такого програмного забезпечення з сучасними геоінформаційними технологіями.

Актуальність досліджень визначається зростанням вимог до підвищення оперативності та повноти інформації при проведенні моніторингу лімнологічних систем з метою створення оптимальних форм управління екологічною безпекою прісних озер. Подібні дослідження проводяться як контактними методами, так і методами дистанційного зондування Землі. Проте за теперішнього розвитку інфраструктури та інформаційних технологій найбільш ефективно проявляє себе поєднання даних методів. Це логічно пояснюється тим, що контактні методи дозволяють одночасно досліджувати фізичні, хімічні, біологічні параметри досліджуваного об'єкта, а за допомогою дистанційних методів проводиться не лише географічна прив'язка результатів, що були отримані за допомогою контактних методів, а й здійснення спостереження за динамікою зміни рівня води, побудова тривимірних моделей озер, оцінка антропогенного навантаження прибережних територій безпосередньо на стан озер та ін.

Слід зазначити, що в Україні водні ресурси є одним із важливих природних факторів, які мають вплив на формування розвитку суспільства та держави. Залежність суспільства від водних ресурсів зростає, підвищуються вимоги до їхньої якості. Дослідження водних ресурсів кожного регіону є актуальним із точки зору вивчення закономірностей функціонування озерних екосистем у зв'язку з надмірним антропогенним навантаженням, яке призводить до змін водного режиму озер і гідробіологічних характеристик води (зокрема, масштабів евтрофікації) [7].

Реалізація комплексних методів досліджень щодо кожного конкретного природного об'єкта передбачає якісний аналіз та структурування проблеми, формування певних критеріїв оцінки, створення моделі складної екологічної системи, розроблення відповідної процедури оцінювання її стану та можливості прогнозування подальшого розвитку.

Фундаментальні підходи до вивчення водних екосистем розроблені багатьма науковцями як в Україні, так і за кордоном. Значний внесок у розвиток гідрології озер зробили Д.М. Анучин, Є.С. Бурксер, Л.С. Берг, Г.Ю. Верещагін, Б.Б. Богословський, Б.Д. Зайков, В.І. Мокрий, Ю.М. Марковський, Л.Л. Россолімо, Д.Е. Хатчисон, Г.І. Швець та ін. Проте, незважаючи на змістовні багаторічні дослідження, тема екологічного моніторингу водних систем методами дистанційного зондування Землі й досі залишається вузькодослідженою.

Проблема екологічного стану та відновлення водних ресурсів, забезпечення суспільства якісною питною водою на сьогоднішній день є однією з ключових не лише у переліку екологічних проблем, а й узагалі серед найбільш актуальних проблем людства. Це підтверджують оцінки

авторитетних експертних середовищ з різних країн світу та міжнародних організацій. Наприклад, в числі останніх можна назвати оцінку експертів Всесвітнього економічного форуму «The Global Risks Report 2019» (Звіт з глобальних ризиків на 2019 р.) [8]. В даній експертній оцінці ризик «криза водопостачання» знаходиться на 5-му місці в рейтингу впливовості глобальних ризиків. Також стан водних ресурсів планети непрямо впливає на інші зазначені впливові ризики: неготовність людства до змін клімату (4-те місце), стихійні лиха (3-тє місце), екстремальні погодні умови (2-ге місце за впливовістю, 1-ше – за вірогідністю виникнення ризику). Немає сумнівів, що для території України вищеперераховані ризики також є актуальними.

Дії України в аспектах вирішення вказаних проблем на сьогоднішній день регламентовані низкою внутрішніх законодавчих норм і міжнародних угод. Делегувати прийняття відповідних рішень регіональним громадам Україну зобов'язує низка міжнародних договорів, рамкових угод і конвенцій, до яких держава приєдналася за роки незалежності [9–15].

Серед вищезгаданих документів велика частка належить до процесу адаптації суспільства до норм сталого розвитку. Основні засади концепції сталого розвитку були викладені в доповіді Всесвітньої комісії ООН з навколишнього середовища та розвитку від 1987 р. Доповідь визначила сталий розвиток як розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління без шкоди для майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби [6]. Ідея про необхідність досягнення екологічно безпечного стійкого соціально-економічного розвитку була покладена в основу «Стратегії 21», узгодженої лідерами майже всіх країн світу на форумі в Ріо-де-Жанейро в 1992 році. Документи, що були підписані за результатами цього та наступного форуму у Йоханнесбурзі (2002 р.) [16, 17], регламентують процес переходу до екологічно безпечного управління територіями та декларують необхідність безпосередньої участі місцевих громад через регіональні органи влади в процесі екологічного управління. Пізніше права громад на таку діяльність були підтверджені Україною шляхом приєднання до Орхуської конвенції (2001 р.). Конвенція регламентує доступ громадськості до інформації та її участь у процесах прийняття рішень у сфері екологічного управління.

У даній монографії автори свідомо не торкаються безумовно актуального питання функціонування морських екосистем, а зосереджуються на прісноводних ресурсах України, екологічна безпека яких є не менш, а з соціально-економічної позиції – і більш актуальною науковою проблемою. Теоретично Україна є однією з найбільш забезпечених прісною водою країн Європи. Територія держави лежить у басейнах низки великих річок (Дніпро, Південний Буг, Дністер, Сіверський Донець), які зі свого боку є частиною

величезного басейну Азово-Чорноморської акваторії. За об'ємом прісної води, що зберігається в річках та озерах, на душу населення Україна знаходиться на рівні держав Центральної та Східної Європи, що лежать на північ від субтропічного поясу, суттєво поступаючися при цьому більшості країн Північної Європи. Але таке твердження про забезпеченість населення України прісною водою є некоректним, якщо враховувати фактор якості води. Основними чинниками антропогенного навантаження на прісноводні ресурси України автори вважають:

1. Побутові скиди. Основними забруднювачами прісноводних ресурсів, за результатами аналізу наявної офіційної статистики, в більшості регіонів України є об'єкти житлово-комунального господарства. Значну частку техногенного забруднення генерують домогосподарства, що обслуговуються вказаними підприємствами сфери житлово-комунального господарства.

2. Промислові скиди. Деякі галузі промисловості, наприклад хімічна, нафтохімічна, деревообробна, генерують велику кількість шкідливих речовин. Деякі з проблем такого типу мають транскордонний характер (в якості прикладу можна навести забруднення р. Тиса внаслідок аварій на промислових підприємствах Румунії, що знаходяться вище за течією).

3. Поверхневий змив ґрунту з сільськогосподарських угідь. Хімічна обробка сільськогосподарських земель та культур (мінеральні добрива, пестициди) призводить до забруднення розташованих поруч водних об'єктів шляхом площинного змиву забрудненого верхнього шару ґрунту під час атмосферних опадів.

4. Нераціональна зарегульованість річкового стоку (значна кількість водосховищ великого розміру). На відміну від низки країн Європи (Норвегія, Швейцарія тощо), де забезпечення електроенергією досягається шляхом побудови масштабної мережі малих ГЕС, в Україні гідроенергетика розвивалась і продовжує розвиватись (Ташлицька ГЕС) через побудову станцій надзвичайно великої потужності, що призводить до появи величезних водосховищ. Це радикальним чином змінює водний баланс у всьому річковому басейні, а також призводить до затоплення значних земельних ділянок.

5. Радіаційне забруднення басейну Дніпра (нижче гирла Прип'яті) внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Потенційна техногенна катастрофа на Київській ГЕС (прорив застарілої дамби) може призвести, крім інших катастрофічних наслідків, до багатократного підвищення вмісту радіонуклідів у дніпровській воді.

1.1. Теоретичні засади моніторингу та оцінки екологічного стану озер України

Шляхи вирішення екологічних проблем, стратегія екологічної безпеки та стійкого розвитку є найактуальнішими питаннями управління життєдіяльністю людини на загальносвітовому рівні. У колі світових лідерів, науковців і технічних фахівців ідуть постійні дискусії в процесі роботи над концепцією екологічної безпеки на базі екологічного моніторингу навколишнього середовища. Наприкінці 60-х рр. багато країн усвідомили, що необхідно координувати зусилля зі збору, зберігання та переробки даних про стан навколишнього середовища. У 1972 р. в Стокгольмі пройшла конференція з охорони навколишнього середовища під егідою ООН, де вперше виникла необхідність домовитися про визначення поняття «моніторинг». Там і було вирішено, що під моніторингом навколишнього середовища будуть розуміти комплексну систему спостережень, оцінки та прогнозу змін стану навколишнього середовища під впливом антропогенних факторів. Термін з'явився як доповнення до терміну «контроль стану навколишнього середовища» [18]. На сьогодні під моніторингом розуміють сукупність спостережень за визначеними компонентами біосфери, спеціальним чином організованими в просторі та часі, а також адекватний комплекс методів екологічного прогнозування. Слід зазначити, що Україна з моменту свого становлення як самостійної держави стала приділяти значну увагу екологічному моніторингу з метою забезпечення захисту навколишнього середовища. В Україні діє «Положення про Державну систему моніторингу довкілля», впроваджене Постановою Кабінету Міністрів України №391 від 30 березня 1998 року, в якому визначені основні завдання моніторингу навколишнього природного середовища та, зокрема, зазначено, що одним із обов'язкових напрямів моніторингу є моніторинг водного середовища.

Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду дослідження водних екосистем [19] показує, що задачі їх збереження та відновлення можуть бути реалізовані лише при активному впровадженні в управління водними об'єктами сучасних інформаційних технологій. Серед інформаційних технологій екологічного спрямування слід виділити ГІС/ДЗЗ-технології, технології комплексного моніторингу екосистем на основі інформаційноємних екологічних індикаторів, технології формування комп'ютерних банків даних за результатами комплексного та локального моніторингу, інформаційно-аналітичні технології обробки результатів дистанційного зондування та полігонно-калібрувальних вимірювань.

Останнім часом найбільший науковий розвиток отримали технології ДЗЗ у США, Канаді, країнах Європейського Союзу для оперативного управління національно-природними парками, заповідниками, сільськогосподарськими угіддями, а також застосування у прикладних сферах природоохоронної діяльності.

Слід зазначити, що існує великий обсяг робіт, присвячених використанню методів дистанційного зондування Землі для вирішення задач природокористування, які можна умовно розподілити за історичними етапами розвитку:

- кінець 20-х – початок 40-х років XX століття ознаменувалися використанням аерофотозйомки для моніторингу земельних угідь, лісів і водних акваторій. У цей період вийшли роботи Е.І. Ейхвальда [20], М.П. Барбот-де-Марні [21], П.Т. Тутковського [22], Е. Рюле [23], С. Кульчицького [24] та ін.;

- кінець 40-х – кінець 80-х років XX століття, тобто період, для якого характерний розвиток космічної техніки та створення перших знімків Землі з космосу. На жаль, у цей період були майже недоступні дослідження закордонних вчених, тому вітчизняна наука базувалася здебільшого на власних розробках, що показано у роботах В.Г. Бондарчука [25], П.К. Заморія [26], О.М. Маринича [27] та ін.;

- кінець XX ст. – початок XXI ст. обумовлені якісно новими методами та технологіями ДЗЗ. Стають відомими роботи зарубіжних вчених: К. Green, W.J. Larson, J.R. Wertz та ін. В цей же період в Україні ціла низка наукових установ займалася розробкою фундаментальних методів та підходів для ГІС і ДЗЗ. Можна вказати такі відомі у всьому світі організації України, що працюють у зазначеному напрямку: Інститут геологічних наук НАН України, Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України, Український інститут досліджень навколишнього середовища і ресурсів Ради національної безпеки і оборони, Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України та ін. Основні досягнення стосуються насамперед розробки сучасних методів аерокосмічних зйомок, обробки знімків, інтерпретації одержаних матеріалів і розробки відповідних систем підтримки прийняття рішень на основі даних ГІС/ДЗЗ. За зазначеним напрямом можна назвати роботи вітчизняних науковців: С.О. Довгого, Г.Я. Красовського, В.Б. Мокіна, В.І. Лялька, М.О. Попова, О.М. Трофимчука, О.Д. Федоровського та ін.

Можна зазначити, що найбільш інтенсивний розвиток методів ДЗЗ почався з 70-х років, коли з'явилася можливість установки на космічних носіях спеціальної апаратури. До початку 80-х років у низці космічних держав (США,

Франція, ЄСРР, Індія й ін.), у результаті розвитку технічних засобів ДЗЗ із космосу, а також національних і міжнародних інфраструктур, які забезпечують прийом, обробку та поширення матеріалів природно-ресурсних космічних зйомок, виникла можливість функціонування в рамках системи моніторингу навколишнього середовища підсистеми аерокосмічного моніторингу [28].

У новітній період розвитку вітчизняної системи аерокосмічного моніторингу, в межах IV Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008–2012 роки, 17 серпня 2011 року було здійснено запуск українського супутника «Січ-2» з оптико-електронними пристроями, що працюють у 5 спектральних діапазонах. Супутник дозволяє отримувати цифрові зображення поверхні Землі в панхроматичному та багатоспектральному діапазонах.

Проте, незважаючи на активний розвиток інформаційних технологій, проблемам екологічного моніторингу водних екосистем приділяється відносно незначна увага. На сьогодні одним із основних напрямів вивчення структурно-функціональної організації та динаміки озер є біогеографічні дослідження, які проводяться науковцями Волинського Західно-Поліського університету [29], Львівського національного університету імені Івана Франка [30, 31], Національного Університету «Львівська Політехніка» [32–35], Інституту ботаніки НАН України [36, 37] та ін. При цьому абсолютний пріоритет надається натурним дослідженням біоценозів і їх компонент на окремих модельних об'єктах без інтеграції та екстраполяції на певну територію. Батиметрична зйомка озер, дослідження їх морфології та гідроекологічного режиму на сучасному науковому та технічному рівні – важлива задача для розв'язання проблем, пов'язаних з природоохоронними та рекреаційно-господарськими функціями озерно-лісових комплексів і прилеглих територій.

Згідно з Водним кодексом України [3], якість води є характеристикою складу та властивостей води, яка визначає її придатність для конкретного виду водокористування.

Основна мета проведення будь-якої оцінки – інформаційна. Результатом має бути отримання інформації, усунення невизначеностей чи нестачі даних. Тому будь-який моніторинг спрямований на отримання даних за конкретною проблемою, надання інформації для громадськості, адміністративних і державних органів, розробки та впровадження заходів з покращення екологічної та санітарної ситуації, прийняття на цій основі відповідних рішень.

Основними завданнями оцінки водних ресурсів є:

- проведення контролю за кількісними та якісними показниками (їх сукупністю), котрі характеризують стан водних ресурсів;
- контроль якості водних ресурсів внаслідок антропогенної діяльності;
- оцінка фактичного екологічного стану водних ресурсів;
- виявлення нових джерел забруднень та їх динаміка, прогноз розвитку негативних процесів, які впливають на стан води;
- перевірка дотримання правил, стандартів якості водних ресурсів;
- прогнозування екологічних заходів зі зниження антропогенного впливу та мінімізації джерел забруднення.

Оскільки не існує єдиного показника, який охарактеризував би весь комплекс характеристик води, оцінка якості води ведеться на основі системи показників. Показники якості води поділяються на фізичні, бактеріологічні, гідробіологічні та хімічні. Іншою формою класифікації показників якості води є їх поділ на загальні (показники, характерні для будь-яких водних об'єктів) та специфічні (показники, обумовлені місцевими природними умовами, а також особливостями антропогенного впливу на водний об'єкт).

До хімічних показників відносять встановлення активної реакції води, окислюваності, азотовмісних речовин, розчинених у воді газів, жорсткості та лужності, а також хлоридів, сульфатів, заліза, марганцю та інших елементів.

Хімічні показники можуть бути загальними та специфічними. До числа загальних хімічних показників якості води відносять розчинений кисень. Низький вміст розчиненого кисню відображається на всьому комплексі біохімічних та екологічних процесів у водному об'єкті.

Хімічне споживання кисню (ХСК) визначається як кількість кисню, який необхідний для хімічного окислення в одиниці об'єму води органічних і мінеральних речовин. Величина ХСК дозволяє судити про забрудненість води окисленими речовинами, але не дає інформації про склад забруднення.

Біохімічне споживання кисню (БСК) визначається як кількість кисню, який необхідний на біохімічне окислення в одиниці об'єму води органічних речовин за визначений проміжок часу. Розрізняють БСК за п'ять діб (БСК5) і за двадцять діб (БСК20).

Наявність у природних водах органічних і деяких легкоокислюваних неорганічних домішок (сірководню, сульфідів, закисного заліза та ін.) зумовлює певну величину окислюваності води.

Додаткові відомості про характер органічних сполук, що містяться у воді, можна отримати, порівнюючи відношення кольору й окислюваності. Підвищене значення цього співвідношення свідчить про переважання у воді

стійких речовин гумусу болотяного походження, знижене – про речовини гумусу планктонного походження.

Мінеральний склад визначається за сумарним складом семи головних іонів: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , $SO_{4,2}^{2-}$, HCO_3^- . Головними джерелами збільшення мінералізації є ґрунтові та стічні води.

Джерелами надходження нафтопродуктів до води є їх втрати при видобутку, переробці та транспортуванні, а також стічні води. Вуглеводні, які входять до складу нафтопродуктів, здійснюють токсичну, а в деяких випадках – наркотичну дію на живі організми, вражаючи серцево-судинну та нервову системи.

Під пестицидами розуміють велику групу штучних хлорорганічних і фосфорорганічних речовин, які використовуються у боротьбі з бур'янами, комахами та гризунами. Головним джерелом їх надходження є поверхневий і дренажний стік зі сільськогосподарських територій. Пестициди мають токсичну, мутагенну та кумулятивну дії, руйнуються повільно.

До числа найбільш розповсюджених важких металів відносять свинець, мідь, марганець, цинк, залізо. Важкі метали мають мутагенну та токсичну дії, швидко знижують інтенсивність біохімічних процесів у водних об'єктах.

Хімічний аналіз природної води має вирішальне значення в практиці водопостачання. Результати аналізу дозволяють встановити придатність джерела для питного й технічного водопостачання, наявність у воді шкідливих для організму забруднень або сполук, які сприяють її корозійній активності, піненню, утворенню накипу та ін.

Титриметричний (об'ємний) метод аналізу ґрунтується на визначенні загальної та карбонатної твердості води, хімічного споживання кисню (ХСК), біохімічного споживання кисню (БСК₅), кислотності, лужності, вмісту розчиненого кисню тощо.

Гравіметричний метод базується на кількісному переведенні аналізованого компонента в малорозчинну сполуку і зважуванні продукту після виділення, промивання, висушування чи прожарювання. Ним визначають у природних і стічних водах залізо (III) та алюміній у вигляді оксидів, хлориди, сульфати, багато інших металів тощо.

До основних фізичних показників якості води відносять температуру, запах, прозорість та ін.

У водних об'єктах температура є результатом одночасної дії сонячної радіації, теплообміну з атмосферою, переносу тепла течіями, змішування водних мас і надходження нагрітих вод із зовнішніх джерел. Температура впливає практично на всі процеси, від яких залежать склад і властивості води.

Запах води створюють специфічні речовини, які потрапляють у воду в результаті життєдіяльності гідробіонтів, розкладання органічних речовин, хімічної взаємодії компонентів, які містяться у воді. Запах води вимірюється у балах. Спочатку дають якісну оцінку запаху за відповідними ознаками: болотний, землистий, рибний, гнильний, ароматичний, нафтовий тощо. Силу запаху оцінюють за 5-бальною шкалою.

Прозорість води залежить від ступеня розсіювання сонячного проміння у воді речовинами органічного та мінерального походження. Прозорість визначає протікання біохімічних процесів, які потребують освітлення. Прозорість вимірюється у сантиметрах:

1. За диском Секкі: щоб виміряти прозорість річкової води, застосовують диск Секкі діаметром 30 см, який опускають на мотузці у воду, прикріпивши до нього вантаж, щоб диск ішов вертикально вниз. Замість диска Секкі можна застосовувати тарілку, кришку, миску, покладені в сітку. Диск опускається до тих пір, поки його не буде видно. Глибина, на яку опущений диск, і буде показником прозорості води.

2. За хрестом: знаходять граничну висоту стовпа води в циліндрі, на дні якого розташована біла порцелянова пластинка з хрестом з товщиною ліній, рівною 1 мм, і чотирма чорними колами діаметром, рівним 1 мм. Висота циліндра, в якому проводиться визначення, має бути не меншою ніж 350 см. Нижня частина циліндра повинна бути підсвічена лампою в 300 Вт.

3. За шрифтом: під циліндр заввишки 60 см і діаметром 3–3,5 см підкладають стандартний шрифт на відстані 4 см від дна. Досліджувану пробу наливають у циліндр так, щоб можна було прочитати шрифт, і визначають граничну висоту стовпа води.

Водневий показник (pH) – це іони водню, концентрація яких виражена через показник $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$, визначає кислотно-лужну рівновагу водних розчинів, визначається концентрацією водневих іонів, точніше їх активністю. Від pH залежить розвиток водяних рослин, характер протікання продуктивних процесів. Зазвичай для більшості природних вод величина pH змінюється в межах 6,5–8,5.

Підвищену каламутність вода має за рахунок вмісту в ній грубодисперсних неорганічних і органічних домішок, визначається ваговим методом і фотоелектричним колориметром.

Спектральний аналіз дає змогу встановити елементний, нуклідний, молекулярний склад речовини та її будову.

Методом полум'яної фотометрії кількісно визначають понад 70 хімічних елементів, зокрема й катіони лужних і важких металів у природних водах.

Мас-спектрометрією виявляють у ґрунті тетрахлордibenзодіоксин.

Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР) відображає вміст різних форм алюмінію та інших металів у природних водах.

Радіометричні методи аналізу ґрунтуються на виявленні та вимірюванні як природної, так і штучної радіоактивності.

Активаційний аналіз ґрунтується на опроміненні нерадіоактивних елементів нейтронами, протонами та іншими високоенергетичними частотками, внаслідок чого вони набувають радіоактивності.

Рентгеноспектральний аналіз – під впливом рентгенівського випромінювання виникає вторинне випромінювання проби, характер якого залежить від якісного та кількісного складу аналізованої речовини.

Люмінесцентний аналіз ґрунтується на здатності речовин випромінювати світло під дією різних збудників.

Сортовий аналіз використовують для визначення різних видів палива, виявлення забруднень. Цим методом аналізують природні та стічні води, повітря, ґрунт, продукти, визначають нафтопродукти, феноли, мідь.

Фізико-хімічні методи ґрунтуються на хімічних реакціях, але визначають і фізичну характеристику, що залежить від вмісту аналізованої речовини.

Фотометричний аналіз визначає практично всі хімічні елементи, крім інертних газів; з його допомогою визначають як макро-, так і мікрокількості аналізованого компонента. Хроматографічний аналіз використовують для аналізу довкілля. Високоєфективна рідинна хроматографія визначає сполуки з малими ГДК (біогенні аміни, поліароматичні вуглеводні, гормони, токсини). Методом газорідинної хроматографії визначають склад стічних вод підприємств, заводів органічного синтезу. Іонообмінною хроматографією визначають загальну твердість води, вміст катіонів важких металів у воді, ґрунті, донних відкладах.

Електрохімічні методи аналізу дозволяють більш детально дослідити вміст проби води. Потенціометрію використовують для визначення рН природних і стічних вод. Вольтамперометрію – для визначення у природних водах і ґрунтах вмісту цинку, кадмію, свинцю, міді. Кондуктометрію використовують для визначення концентрації розчинених солей у питних водах і водах для теплообмінного обладнання.

Біохімічні методи дозволяють вивчити бактеріальний склад води. Бактеріологічні показники характеризують забрудненість води патогенними мікроорганізмами. До них відносять: колі-індекс – кількість кишкових паличок в одному літрі води; колі-титр – кількість води, в якій може знаходитись одна кишкова паличка.

Гідробіологічні показники дають змогу оцінити якість води за тваринним населенням і рослинністю водойми.

Біологічні методи широко використовують з метою визначення стану довкілля (біоіндикація). Живі організми часто є тест-об'єктами при вивченні дії токсичних речовин (визначення ГДК і летальних доз), фармакологічного ефекту лікарських препаратів тощо.

Найбільш ефективним біохімічним методом оцінки можливої небезпеки тих чи інших джерел забруднення для водної флори та фауни є біотестування – експериментальне визначення токсичності води для гідробіонтів, заснованого на реєстрації реакцій тест-об'єктів, за допомогою якого можна встановити токсичну дію забрудненої води.

1.2. Фізико-географічні особливості функціонування досліджуваних лімнологічних екосистем

Дослідження озер необхідне як для забезпечення екологічної безпеки природоохоронних територій, так і для оцінки ресурсного потенціалу та збереження водних ресурсів в цілому. Озерним комплексам належить провідна роль у регулюванні і формуванні стоку річок, процесів самоочищення води, нагромадження речовин. Акваторії та береги озер є середовищем збереження та розвитку біорізноманіття. В озерах зосереджені водні, біологічні, мінеральні природні ресурси. На узбережжі озер розміщені об'єкти стаціонарної та регульованої рекреації, населені пункти, промислові та агропромислові підприємства, що призводить до забруднення озерних комплексів.



Рисунок 1.4. Кременчуцьке водосховище, Черкаська область

В представленій монографії було досліджено лімнологічні системи України, розташовані в регіоні Центральної лісостепової частини України (Кременчуцьке водосховище), регіоні Західного Полісся (Волинська, Рівненська області), регіоні Українських Карпат, Подільському регіоні України (Хмельницька, Чернівецька, Тернопільська обл.) та антропогенізовані лімнологічні об'єкти (рис. 1.4–1.12).

1. Кременчуцьке водосховище в регіоні Центральної лісостепової частини України (Черкаська обл.).

2. Природні лімноекосистеми Західного Полісся:



Рисунок 1.5. Озеро Світязь, Шацький НПП



Рисунок 1.6. Озеро Нобель, Зарічненський район, Рівненська обл.

- озера Шацької групи (є утворюючим ядром Шацького національного природного парку, Волинська обл.);
- озера, що є складовими проточними для р. Прип'ять – Нобель, Омит, Люб'язь (Волинська, Рівненська обл.);



Рисунок 1.7. Озеро Люб'язь, Волинська область, НПП «Прип'ять – Стохід»

- озеро Біле (Рівненський природний заповідник, Рівненська обл.).



Рисунок 1.8. Озеро Біле, Рівненська область, Рівненський НПП

3. Гірські озера Українських Карпат (Синевир та Озірце, Синевирський національний природний парк, Закарпатська обл.).



Рисунок 1.9. Озера Синевир, Синевирський НПП

4. Лімноекосистеми Подільського регіону України, Дністровський каньйон в межах НПП «Подільські Товтри», водно-болотне угіддя міжнародного значення затока Бакота.



Рисунок 1.10. Дністровський каньйон, водно-болотне угіддя міжнародного значення затока Бакота, НПП «Подільські Товтри»

5. Урбанізовані лімнологічні об'єкти – Тернопільський став (м. Тернопіль), о. Вербне та система озер Опечень, що утворилися у колишній заплаві річки Почайни (м. Київ).



Рисунок 1.11. Тернопільський став, м. Тернопіль



Рисунок 1.12. Озеро Вербне, м. Київ

1.3. Закономірності процесів техногенного та антропогенного впливу на екологічний стан водних об'єктів

З метою контролю стану довкілля та управління його екологічною безпекою необхідно чітко знати, з яких компонентів воно складається. На кожний компонент живої та неживої природи, на кожну природоохоронну сферу впливає той чи інший техногенний об'єкт. І ми повинні вміти оцінювати цей вплив, стежити за його змінами, прогнозувати його розвиток, щоб керувати станом довкілля і вчасно запобігати його негативним змінам.

Вплив техногенних об'єктів хоча і незначний, але він є, що враховано для екологічної оцінки стану водних об'єктів. Отже, розглянемо структуру біосфери, її екологічний стан і природні ресурси, які нас оточують і якими ми повинні користуватись з огляду на їх обмеженість.

Будь-яка геоекосистема, незалежно від її ієрархії і розміру, – континент, океан, гірська країна, рівнина, річкова долина, гора чи горб, лісовий масив, озеро або навіть краплина дощу, що тільки падає з неба на землю, – складається з того чи іншого набору компонентів неживої природи (абіоти, або екотопу): літосфери (геологічного середовища і надрових ресурсів); геофізичних полів Землі і Космосу (геофізсфери); рельєфу (геоморфосфери, або територіального ресурсу); гідросфери, або поверхневих, ґрунтових і підземних водних ресурсів; атмосфери з кліматичними ресурсами – а також живої природи (біоти, або біоценозу): педосфери (ґрунтового покриву і земельних ресурсів); фітосфери (рослинного покриву); зоосфери (тваринного світу) й соціосфери (демосфери, або людської спільноти). Усі ці дев'ять компонентів у біосфері Землі і в кожній окремій екосистемі, тісно пов'язані один із одним, взаємозумовлені і взаємозалежні, функціонували до активної людської діяльності як єдиний природний збалансований організм. В епоху науково-технічного прогресу на усі ці дев'ять компонентів активно впливає техносфера, яку створила людина. І наша задача – оцінити динаміку цього техногенного пресу та запобігти небажаним змінам природних та природно-антропогенних геоекосистем.

Наші дослідження дають можливість зробити висновок про відносну чистоту атмосферного повітря, поверхневих вод і ґрунтів у районах, де були проведені експедиційні дослідження, та на прилеглих територіях. У переважній більшості були досліджені водні об'єкти на територіях природно-заповідного фонду України. Але досліджені водні об'єкти знаходяться під техногенним впливом промислових об'єктів, населених пунктів, автомобільних доріг і мостів, магістральних газопроводів та інших джерел забруднення довкілля. Існує ціла низка ризиків для довкілля і здоров'я

людини, які необхідно враховувати для забезпечення екологічної безпеки, збалансованого природокористування та сталого соціально-економічного розвитку цього регіону.

Транскордонні переноси. Тільки з території Польщі, за даними Міжнародного метеорологічного центру в Осло, в Україну надходить щорічно 691 тис. т сірчаних сполук, а в зворотному напрямі «ми постачаємо» Польщі тільки 215 тис. т тих же сполук. Ці перенесення фіксуються двома транскордонними метеостанціями в Берегово і Раві-Руській. Переваливши через Карпати, більшість цих поллютантів осідає у «вітровій тіні» Карпат, тобто на Прикарпатті, в долині Дністра і на Західному Поділлі, розподіляючися згідно з розою вітрів.

Локальні забруднення водних об'єктів спричиняються місцевою промисловістю, автомобільним та залізничним транспортом, сільськогосподарським виробництвом та ін. Оцінка якості поверхневих вод дозволила віднести їх до II, III і IV класів якості і відповідно до 2-ї (дуже добрі, чисті), 3-ї (добрі, досить чисті), 4-ї (задовільні, слабо забруднені), 5-ї (посередні, помірно забруднені) і 6-ї (брудні, погані) категорій.

Даний огляд був наведений з метою загальної фізико-географічної характеристики лімнологічних систем, які були досліджені авторами під час наукових експедицій і подальшого аналізу отриманих під час експедиційних досліджень даних про екологічний стан лімнологічних об'єктів України.

В прикладних аспектах охорони та раціонального управління водокористуванням особливої уваги заслуговує створення інформаційного середовища – тематична обробка космознімків у даних геоінформаційних та експертних систем різного рівня. Висока ефективність їх застосування обумовлена комплексністю оцінки еколого-санітарного стану поверхневих вод, а також параметрів, під впливом яких формуються ці стани. Вони характеризують динаміку основних процесів формування якості поверхневих вод. До цих процесів належить забруднення поверхневих вод точковими та дифузними джерелами. Враховуючи світові тенденції сталого розвитку, проблема формування природно-техногенних водойм у Західному регіоні України є актуальною.

Річний баланс об'єму води на земній кулі дорівнює 518,6 тис м³. Прісної води на планеті завжди було небагато – лише 3% від загальних запасів. Причому 2% припадає на льоди Арктики і Антарктики. Загальні ресурси прісної води в Україні досить значні (біля 210 км³), але розповсюджені вони по площі нерівномірно, і не всі можуть бути використані як якісні господарсько-питні, тому значна частина населення потерпає від їх нестачі.

Річки у західних районах України, в межах яких беруть початок більшість річок, таких як Західний Буг, притоки р. Дністер, Верещиця, Щирка, Зубра, Збруч тощо і які належать до середніх і малих річок, за ступенем забруднення не поступаються, а іноді і перевищують забрудненість річок східних і центральних районів.

Значне погіршення екологічного стану території за останні 25–30 років призвело, відповідно, до забруднення підземних вод, що обмежує можливість їх використання. Значні території родовищ підземних вод в останні роки підпали під житлову та промислову забудову. У західних областях України підземні води експлуатуються нерівномірно. З 1959 р. почалась інтенсивна розвідка водозаборів господарсько-питної (одночасно і технічної) води і її експлуатаційних запасів. Максимальний водовідбір був досягнутий у 1990 р., після чого почався спад, викликаний економічними проблемами.

В західному регіоні наявні наступні види штучних озер, які розрізняються за призначенням і будовою: затоплені залишкові виїмки кар'єрів; водосховища на річках, побудовані для водопостачання та водовідведення; хвостосховища і гідровідвали для накопичення відходів виробництва і порід, які розробляли способом гідромеханізації; акумулюючі басейни і накопичувачі для розбавлення мінералізованих вод; безстічні пониження.

Моніторинг процесів ландшафтоутворення обумовлений складністю і недостатністю вивчення явищ, які відбуваються в зонах впливу новостворених озер і потребують організації комплексного моніторингу. Для управління екобезпекою цих територій надзвичайно важливо встановити закономірності процесів самовідновлення компонентів природного середовища – формування берегів штучних озер, хімічного складу води, відродження біоти, формування біоценозів. Завданням практичного значення є визначення стійкості озер до антропогенного навантаження, оцінка рекреаційного потенціалу акваторій і прибережних територій, можливості використання озер для господарства, оцінка впливу озер на режим гідромережі, враховуючи їх розміщення в транскордонних басейнах Вісли і Дністра. Спостереження за процесами формування озер набуває великого науково-практичного та навчально-методичного значення.

Можливості традиційних методів досліджень причинно-наслідкових закономірностей формування якості поверхневих вод суттєво розширюються при використанні матеріалів дистанційного зондування водних об'єктів та їх поверхневих водозборів. Сучасні технічні засоби дистанційного зондування дозволяють отримати достатньо різноманітну інформацію про властивості земної поверхні у видимій (0,3–0,8 мкм), ближній (1,8–5,3 мкм) і дальній (7–14 мкм) ІЧ областях спектру, а також в діапазоні НВЧ (3–100 см).

Спеціальними методами обробки різних видів цієї інформації вивчаються закономірності просторово-часових розподілів водних мас, які відрізняються вмістом розчинених або зважених речовин природного та антропогенного походження [3]. Для практичного використання в системі Органів Прийняття Водоохоронних Рішень вказані оцінки та закономірності для зручності представляються у вигляді картографічних моделей. Колориметричні параметри обумовлені варіаціями гідрооптичних, гідроелектричних, гідротеплових характеристик водних мас з різними концентраціями розчинених та зважених речовин [4]. Результати досліджень дозволяють вирішувати такі задачі екологічної безпеки, ресурсокористування та водоохоронної інтерпретації космічних зображень: картографування зон поширення та впливу стічних вод точкових та дифузних джерел; картографування просторового розподілу процесів евтрофікації водойм; картографування ділянок інтенсивної переробки берегів та прибережної території; картографування ділянок замулення та утворення відмілин в процесі акумуляції донних відкладів, як джерел вторинного забруднення водойм або зміни їх гідродинамічного режиму; ідентифікація еколого-санітарного стану поверхневих вод.

Розгляд кожної з цих задач стосовно конкретного об'єкта дозволяє отримати доцільні для практики його господарського використання та охорони оцінки періодичності їх реалізації та точності отримуваних картографічних моделей. При цьому враховуються індивідуальні гідрологічні особливості водойми, закономірності її забруднення сукупністю абіотичних, біологічних та антропогенних полютантів. В прикладних аспектах доцільне використання картографічних моделей водойм в оперативно-прогностичних цілях.

В результаті досліджень отримуємо можливість не лише розв'язати проблему ефективного контролю режимів водокористування, але і накопичити достатні статистичні дані для достовірного аналізу сезонної динаміки екологічної ситуації на водоймах, а також прогнозу тенденцій і темпів її змін. Володіння об'єктивною інформацією про основні закономірності формування гідрологічних режимів необхідне для екологічних експертиз та обґрунтування ефективності оптимізаційних водоохоронних заходів.

За умови нарощування антропогенного навантаження на природне середовище, розвитку суспільного виробництва і зростання матеріальних потреб, виникає необхідність розробки і дотримання особливих правил користування водними ресурсами, раціонального їх використання та екологічно спрямованого захисту. Управління і контроль за використанням і охороною вод та відтворенням водних ресурсів охоплює великий спектр

завдань: забезпечення потреб населення і галузей економіки у водних ресурсах, ведення державного обліку водокористування та державного водного кадастру, здійснення гідроекологічного моніторингу водних об'єктів, здійснення заходів щодо екологічного оздоровлення поверхневих вод та догляду за ними, проектування, будівництво і експлуатація водогосподарських систем та об'єктів комплексного призначення, виконання заходів, пов'язаних із попередженням шкідливої дії вод і ліквідацією її наслідків, включаючи протипаводковий захист населених пунктів та земель, управління режимами роботи водосховищ комплексного призначення, водогосподарських систем і каналів тощо.

Для ідентифікації просторової складової ГІС-моделей адміністративних та басейнових утворень регіону можна використати два способи. Через геоінформаційну карту: за нанесеними на карту границями областей та районів легко з'ясувати, які райони – в яких областях, аналогічно – і за іншими утвореннями. Другий спосіб варто застосовувати для ідентифікації інформаційної складової ГІС-моделей адміністративних та басейнових утворень регіону.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) – це засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів).

Найбільш розповсюдженими способами цифрового представлення рельєфу є растрове представлення, векторне представлення та особлива модель просторових даних, заснована на мережі TIN (англ. «*Triangulated irregular network*» – «триангуляційна нерегулярна мережа»), що апроксимує рельєф багатогранною поверхнею з висотними оцінками (оцінками глибин) у вузлах трикутної мережі.

Формально методи ідентифікації та візуалізації ЦМР можуть бути застосовані і для роботи з поверхнями розподілу певних величин, наприклад концентрацій речовин у створах регіону, котрі широко використовуються в тематичних картах. Значна складність будови долини Дністра дає можливість аналізувати подібні ряди різноманіть. Зокрема, для долини характерний надзвичайно різноманітний літологічний спектр порід, що відслоюються, з нетиповими, повнопрофільними, унікальними та із значною кількістю решток викопної фауни розрізами, особливо у східній частині каньйону. Глибоке вертикальне розчленування каньйону Дністра, наявність великих вузлів круто врізаних меандр і «меандрових» вузлів, широкий розвиток та різноманіття схилових місцевостей говорять про геоморфологічне різноманіття ландшафтів, яке водночас виступає передумовою клімат-ресурсного ряду різноманіть. Оцінка вказаних вище різноманіть передбачає застосування

параметрів функціонально-часового спрямування (функціональне, таксономічне, індивідуальне різноманіття).

При всіх варіантах оцінок природного різноманіття – різноманіття зв'язків, просторових зв'язків, ієрархічної організації, елементарних територіальних одиниць – високі його значення ускладнюють господарське використання території, але водночас мотивують до збереження ландшафтного різноманіття і визначають високу естетичну цінність. Зокрема, при високому значенні показника різноманіття відношень (на основі методу головних компонент), потрібні значні зусилля на підтримку стійкого функціонування природно-господарської системи, що характерно і для досліджуваного регіону. Території з високими значеннями показників різноманіття ієрархії, відносного багатства, різноманіття Шеннона сприятливі для організації рекреації. Показовими для визначення рекреаційної цінності долинних ландшафтів Дністра будуть індекси унікальності (інформативність) та фрагментації. Значне різноманіття просторових відношень Дністровського каньйону визначає естетичну цінність цієї території.

Растр – це прямокутний масив комірок одного розміру, які в сукупності є тематичними, спектральними або фотографічними даними. Основна перевага растрових карт над векторними полягає в їх неперервності. Векторні карти відображають дискретні об'єкти, а растрові – неперервні об'єкти, наприклад рельєф місцевості. Створені регіональні бази геоданих є першим етапом у зборі та опрацюванні кадастрової інформації у регіоні. В подальшому на їхній основі слід визначити функціональне призначення природно-господарських систем на території. Це дозволить зменшити ризик прояву небезпечних екзогенних процесів і забруднення складових природного середовища.

Важливою проблемою є оцінка масштабів, тенденцій та інтенсивності змін стану і режиму функціонування річкових систем, впливу цих змін на ризик небезпечних природних процесів та обґрунтування комплексу заходів для мінімізації їхнього негативного впливу на довкілля і людину. Зокрема, актуальними є наступні завдання:

- обґрунтування схеми та алгоритмів використання можливостей ГІС у дослідженнях річкових систем, розробка відповідної структури ГІС;
- аналіз чинників функціонування річкових систем, їх впливу на стік води, розвиток ерозійно-аккумулятивних процесів у руслах, деградацію річок, ризик прояву небезпечних процесів;
- аналіз структури річкових систем, горизонтальних і вертикальних деформацій русел, визначення тенденцій, масштабів та інтенсивності цих процесів;

– геоінформаційний аналіз багаторічної динаміки стоку води і наносів, масштабів і тенденцій їх змін, визначення причин цих змін та оцінка їхніх еколого-географічних наслідків;

– обґрунтування заходів з оптимізації екологічного стану геосистем, попередження і регулювання розвитку небезпечних процесів.

Організаційна структура такої ГІС містить наступні блоки: збір, систематизація, редагування даних, моделювання ретроспективного і сучасного стану геосистем та їх змін, синтез результатів, прогнозування еколого-географічного стану басейнових систем, обґрунтування пропозицій з його оптимізації. Головними тематичними блоками є «система моніторингу екологічного стану басейнових систем», «умови і чинники функціонування басейнових систем», «структура і функціонування річкових і басейнових систем».

Нами опрацьований алгоритм досліджень басейнових систем з використанням ГІС-технологій, який містить такі етапи: оцінка наявності і придатності інформації про стан і функціонування геосистем; збір, систематизація даних і формування баз даних; моделювання і оцінка чинників функціонування басейнових геосистем; аналіз і моделювання режиму функціонування річкових систем і розвитку морфодинамічних процесів; аналіз змін режиму функціонування геосистем; оцінка потенціалу розвитку небезпечних процесів, а також ризику його реалізації; районування сточища та обґрунтування комплексу оптимізаційних, процесорегуючих і захисних заходів.

З використанням створеної ГІС проаналізовані чинники функціонування річкових систем і розвитку небезпечних процесів у їх басейнах. В результаті геоінформаційного моделювання виявлені причинно-наслідкові зв'язки між явищами, оцінений вплив різних явищ і процесів на еколого-географічну ситуацію тощо. За результатами досліджень створюється геоінформаційна модель потенціалу розвитку небезпечних процесів у верхній частині сточища Дністра з можливістю інтерактивної актуалізації вхідних даних.

Крім регіональних баз геоданих, створено локальні бази геокадастрової інформації, які містять дані щодо особливостей структури землекористування, виявлені зони розвитку небезпечних екзогенних процесів чи інші природно-господарські характеристики. Використання аерокосмічних та наземних методів вивчення природно-господарських систем є надзвичайно важливими при вирішенні актуальних питань їхнього обліку. Під час складання великомасштабних кадастрових карт (1:2000–1:10000) точність дешифрування аеро- та космознімків зростає за умови одночасного проведення кадастрових досліджень на ключових ділянках. Вдале розміщення

ключів дозволяє достовірніше інтерпретувати результати дистанційного зондування для великих територій.

Методи ідентифікації та візуалізації ЦМР можуть бути застосовані і для роботи з поверхнями (цифровими матрицями) показників забруднення місцевості, наприклад концентрацій речовин у створах регіону, що широко використовується під час побудови тематичних карт. Стан геосистем в районі Дністра проаналізовано за допомогою серії аеро- і космознімків високої роздільної здатності, що відображали різні часові зрізи. Визначено підхід до паспортизації річок, що протікають у схожих гідрометеорологічних умовах за моделями геоданих. Таким чином, є важливою розробка геоінформаційної системи басейну р. Дністер з банком еколого-водогосподарської та кадастрової інформації про водний фонд, водні ресурси, використання водних ресурсів, якість води тощо.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПІДХОДИ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1. Контактні методи моніторингу гідрохімічних і гідробіологічних показників води в лімнологічних системах

Контроль за станом довкілля здійснюється за допомогою екологічного моніторингу, який є базовим механізмом системи екологічного управління. Моніторинг довкілля, як комплексна галузь, користується загальнонауковими методами досліджень, такими як аналіз і синтез, сходження від конкретного до абстрактного, узагальнення, математична та статистична обробка інформації. Разом з тим, доцільно використовувати методи аналізу, прогнозування стану екологічних систем і процесів, що в них відбуваються, та різноманітні методи отримання первинної і вторинної інформації.

Для отримання первинної інформації авторами використовуються методи дистанційного зондування Землі та безпосередні спостереження із відповідним відбором проб води і донних відкладів. Методи отримання вторинної інформації полягають в упорядкуванні і опрацюванні бази даних, отриманих за допомогою первинної інформації, в середовищі геоінформаційної системи.

В задачах екологічної безпеки, моніторингу довкілля та управління природокористуванням важливе місце посідають фоновий моніторинг та визначення еталонних ділянок, де наближення екосистем до свого природного стану є максимальним, для визначення критеріїв екологічної безпеки на інших територіях. Такий моніторинг доцільно проводити із поєднанням контактних та дистанційних методів, залучаючи при цьому технології космічного моніторингу зазначених ділянок. Отримані кількісні та якісні показники мають бути опрацьовані та просторово представлені у вигляді інтерактивних картографічних моделей, що створюються засобами геоінформаційних систем.

Експедиційною групою вчених в період 2009–2020 років було проведено низку експедиційних досліджень лімнологічних систем України. Під час експедицій групою науковців (рис. 2.1) було проведено безпосередні спостереження з відповідним відбором проб води для визначення загальних фізико-хімічних показників якості води, що наведені у таблиці 2.1. Хімічний склад природних вод є інтегральною характеристикою, що віддзеркалює вплив природних та антропогенних факторів на довкілля.



Рисунок. 2.1. Робочі експедиційні групи дослідження озер
(експедиції в період 2009–2020 рр.)

При проведенні моніторингу поверхневих вод враховувалась низка гідрофізичних показників: межі коливання температури, кольоровості, прозорості, каламутності (зважені частинки), рН, електропровідність. Водневий показник (рН) води – один з найважливіших робочих показників якості води, який визначає характер хімічних і біологічних процесів, що відбуваються у воді. Залежно від величини рН може змінюватися швидкість протікання хімічних реакцій, ступінь корозійної агресивності води, токсичність забруднювальних речовин тощо. Залежно від рівня рН воду умовно розділяють на кілька груп, що зазначені у таблиці 2.2 (сильнокисла, кисла, слабокисла, нейтральна, слаболужна, лужна, сильнолужна).

Електропровідність не нормується, але величина 2000 мкС/см приблизно відповідає загальній мінералізації в 1000 мг/л. Це здатність водного розчину проводити електричний струм. Електрична провідність природної води залежить насамперед від ступеня мінералізації (концентрації розчинених мінеральних солей) і температури. Завдяки цій залежності, за величиною електропровідності води можна з певним ступенем похибки говорити про мінералізацію води.

Таблиця 2.1.

Загальні фізико-хімічні показники якості води

Показник	Одиниці вимірювання	ГОСТ 2874-82	ДСанПіН України	WHO	USEPA	ЄС
Водневий показник	одиниці рН	6,0–9,0	6,5–8,5	–*	6,5–8,5	6,5–8,5
Загальна мінералізація (вміст солей)	мг/л	1000	1000	1000	500	1500
Твердість загальна	мг-екв/л	7,0	7,0 (10)	–	–	1,2
Окислюваність перманганатна	мгОг/л	–	4,0	–	–	5,0
Електропровідність (при 20°C)	мкС/см	–	–	–	–	–
Температура	°C	–	–	–	–	25
Кислотність	мг-екв/л	–	–	–	–	–
Лужність	мг НСО ₃ /л	–	–	–	–	30

* тире означає, що даний параметр не нормується

Таблиця 2.2.

Водневий показник рН

Категорія води	Величина рН
сильноокисла	<3
кисла	3–5
слабоокисла	5–6,5
нейтральна	6,5–7,5
слаболужна	7,5–8,5
лужна	8,5–9,5
сильнолужна	>9,5

Такий принцип вимірювання використовується, зокрема, у досить розповсюджених приладах оперативного вимірювання загального вмісту солей (так званих TDS-метрах).

Спеціальних норм, що визначають температуру води, крім ЄС (<25°C), ніхто не вводить. У рекомендаціях WHO сказано лише, що температура води «повинна бути прийнятною». Говорити ж про деякі норми практично безглуздо, тому що в силу природних причин середньорічна температура води

в різних районах країни не може бути однаковою. Висока ж температура води не тільки прискорює ріст мікроорганізмів, але і може посилити проблеми, пов'язані з присмаком, запахом, кольоровістю, корозією. Температура впливає на фізичні, хімічні, біохімічні і біологічні процеси, які відбуваються у воді. Від температури води значною мірою залежать кисневий режим, інтенсивність окислювально-відновлювальних процесів, активність мікрофлори тощо.

Саме тому в період проведення експедицій науковцями, окрім відбору проб води для лабораторного аналізу, було проведено експрес-аналіз зазначених показників. Для експрес-аналізу використовувались прилади експрес-тестування комплексних фізико-хімічних параметрів води COM-100, PH/PKL-013M (рис. 2.2, рис. 2.3).

До числа органолептичних показників належать ті параметри якості води, що визначають її споживчі властивості, тобто ті властивості, що безпосередньо впливають на органи чуттів людини (нюх, дотик, зір). Найбільш значимі параметри (смак і запах) не підлягають формальному виміру, тому їхнє визначення проводилось експертним шляхом. Органолептичні показники, що враховувались, зазначені у таблиці 2.3.



Рисунок 2.2. Прилад експрес-тестування комплексних фізико-хімічних параметрів води COM-100

Одним із вимірюваних показників була прозорість. Прозорість (чи світлопропускання) природних вод обумовлена їхнім кольором і каламутністю, тобто вмістом у них різних пофарбованих і зважених органічних і мінеральних речовин. Воду, залежно від ступеня прозорості, умовно поділяють на прозору, слабоопалесцентну, опалесцентну, злегка каламутну, каламутну, сильно каламутну.



Рисунок 2.3. Прилад експрес-тестування комплексних фізико-хімічних параметрів води PH/PKL-013M

Таблиця 2.3.

Органолептичні показники

Показник	Одиниці вимірювання	ГОСТ 2874-82	ДсанПіН України	WHO	USEPA	ЄС
Запах	бал	2	2	—*	**	—
Присмак	бал	2	2	—	**	**
Кольоровість	градус РІ-Со шкали	20	20 (35)	15	15	20
Каламутність	ЕМФ (по формазину) мг/л (по каоліну)	— 1,5	— 0,5 (1,5)	5 (1) —	0,5–1 —	4 —
Прозорість	см	—	—	—	—	—

* тире означає, що даний параметр не нормується

** величина нормується, але одиниці вимірювання не приводяться до прийнятих в Україні

Мірою прозорості служить висота стовпа води, при якій можна спостерігати білу пластину визначених розмірів, що опускається у водойму (диск Секкі), або розрізняти на білому папері шрифт визначеного розміру і типу. Результати виражаються в сантиметрах із вказівкою способу вимірювання (рис. 2.4). Ослаблення в мутній воді інтенсивності світла з глибиною призводить до більшого поглинання сонячної енергії поблизу поверхні. Поява більш теплої води на поверхні зменшує перенесення кисню з повітря у воду, знижує густину

води, стабілізує стратифікацію. Зменшення потоку світла також знижує ефективність фотосинтезу і біологічну продуктивність водойми. Збільшення кількості грубодисперсних домішок і мутності характерно для забруднених і евтрофних (низинних стоячих, що знаходяться в першій стадії заболювання) водойм. Відповідні результати було зафіксовано та включено до загального аналізу якості води досліджуваної лімнологічної системи (рис. 2.5).



Рисунок 2.4. Визначення прозорості води диском Секкі



Рисунок 2.5. Фіксація результатів експрес-тестування та точок відбору проб води

Експедиційною групою вчених, як зазначалось раніше, були відібрані проби води на визначених попередньо ділянках акваторії досліджуваних водних об'єктів для проведення гідрохімічного лабораторного аналізу якості води, зокрема за такими нормативними показниками: вміст сульфатів, нітритів, нітратів, солей амонію, хлоридів, фосфатів, кальцію, магнію, заліза, кремнію. Результати аналізу в табличній формі та векторний шар даних, що показує місця взяття проб на деяких об'єктах, представлено на рисунках 2.6–2.10. За матеріалами космічних зйомок проведено верифікацію отриманої інформації, одержаної в результаті натурних досліджень.

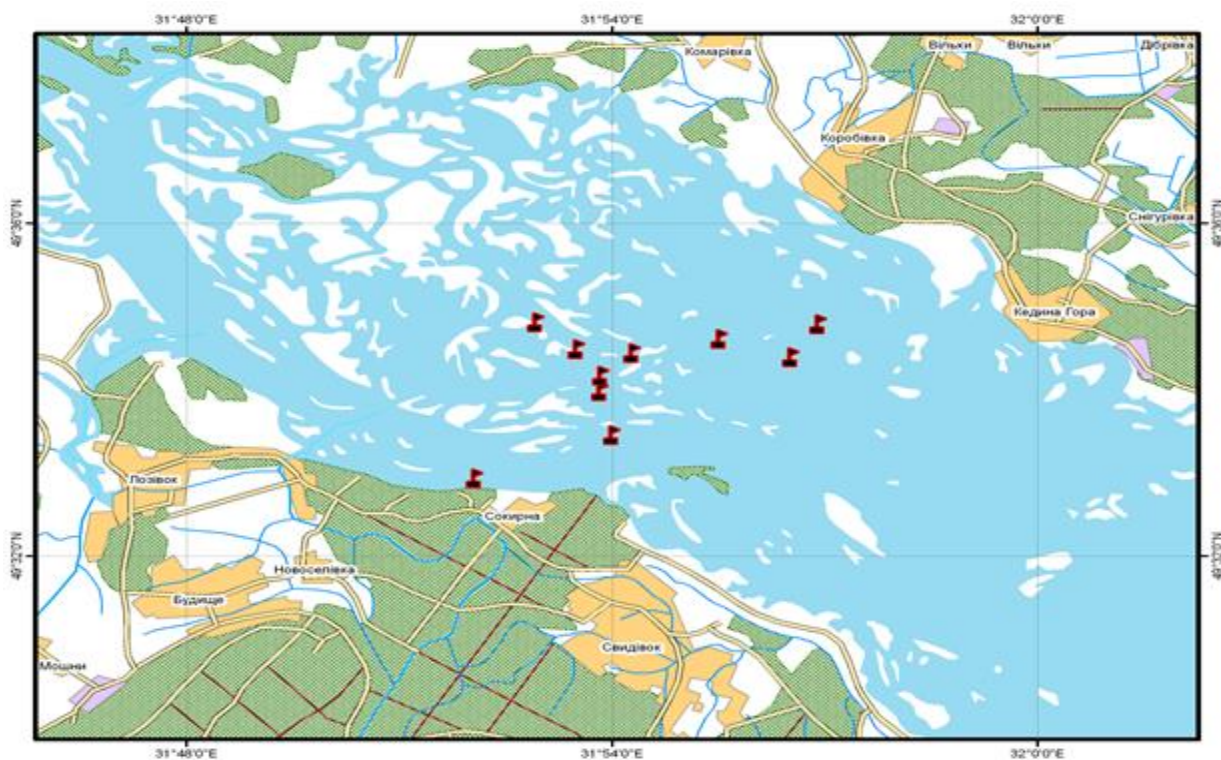


Рисунок 2.6. Карта станцій відбору поверхневих проб води Черкаського водосховища

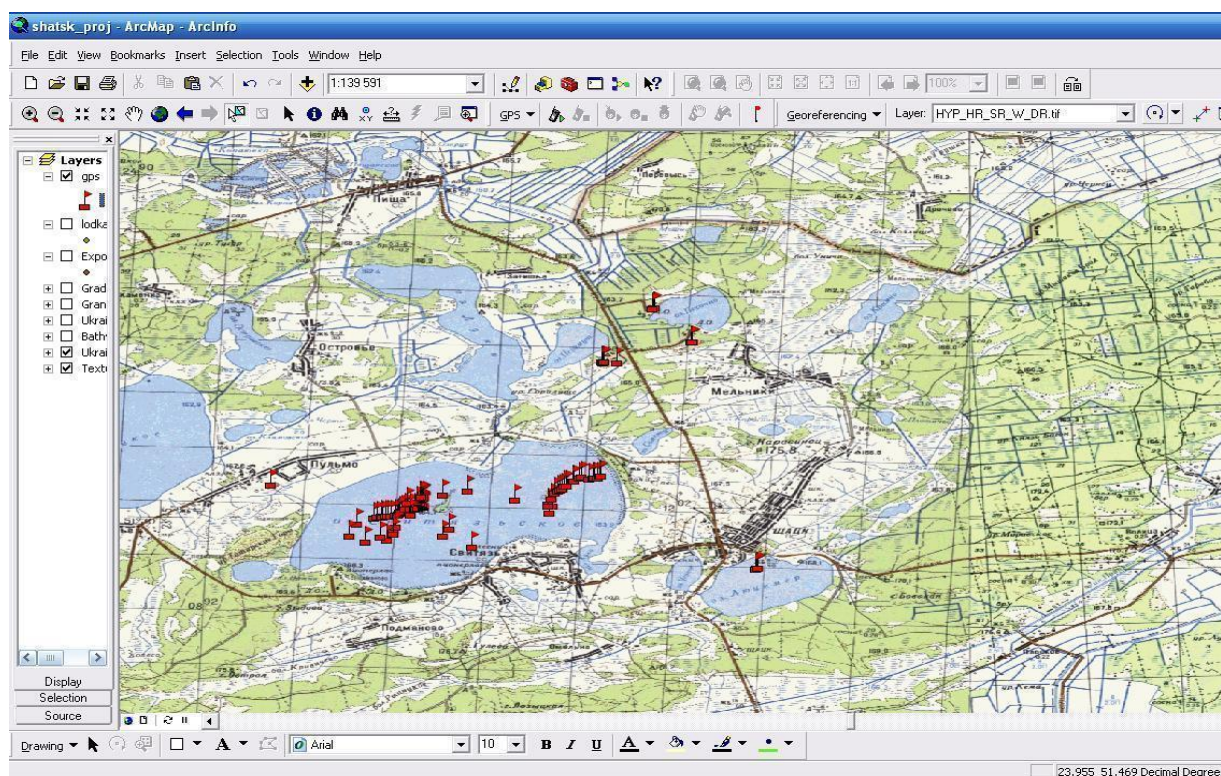


Рисунок 2.7. Точки відбору зразків проб на озерах Шатського НПП у геоінформаційній системі ArcGIS

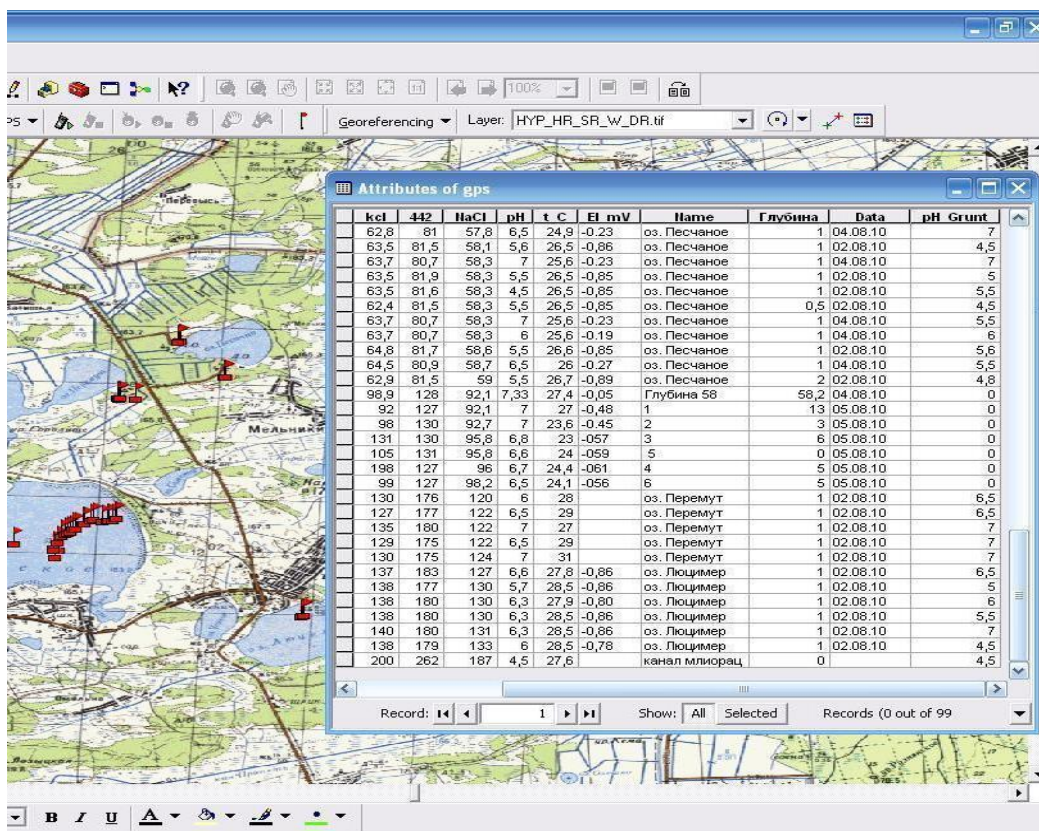


Рисунок 2.8. База даних відібраних показників якості води на озерах Шацького НПП

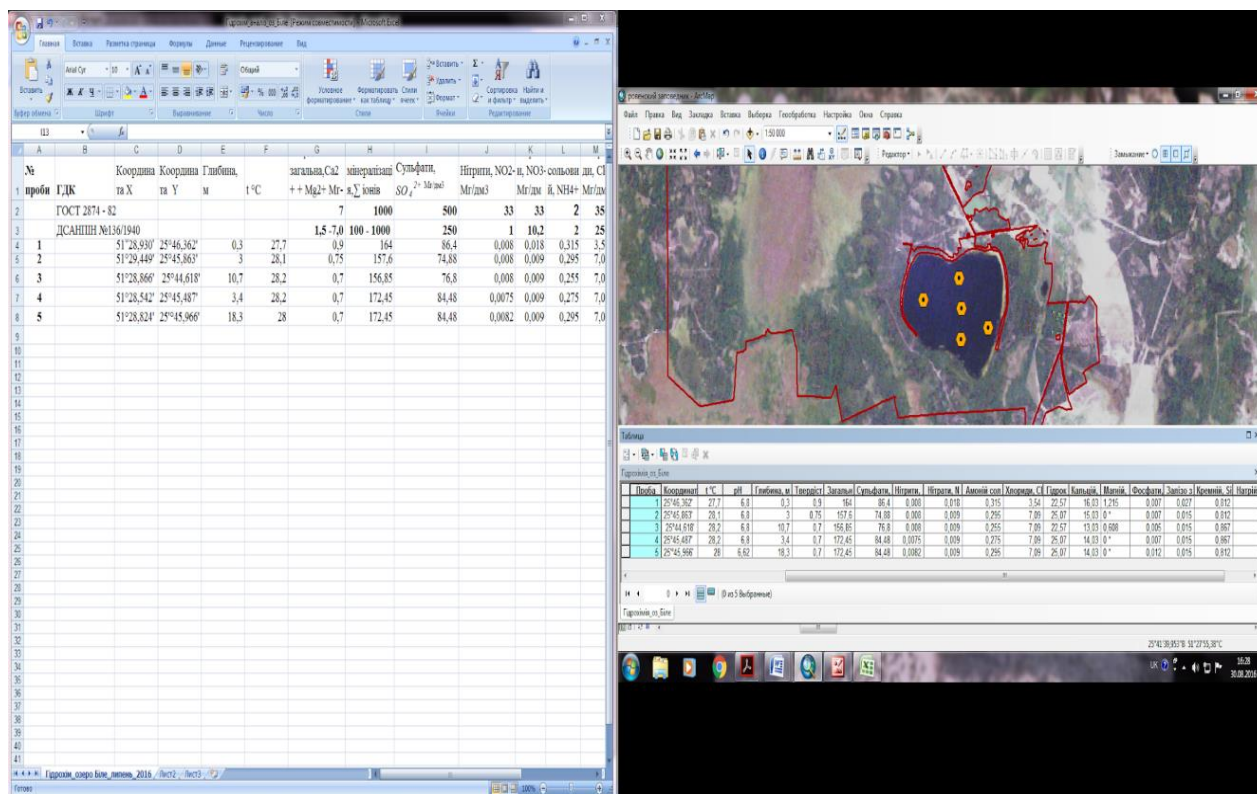


Рисунок 2.9. Результати хімічного аналізу точок відбору проб води в озері Біле, Рівненський НПП

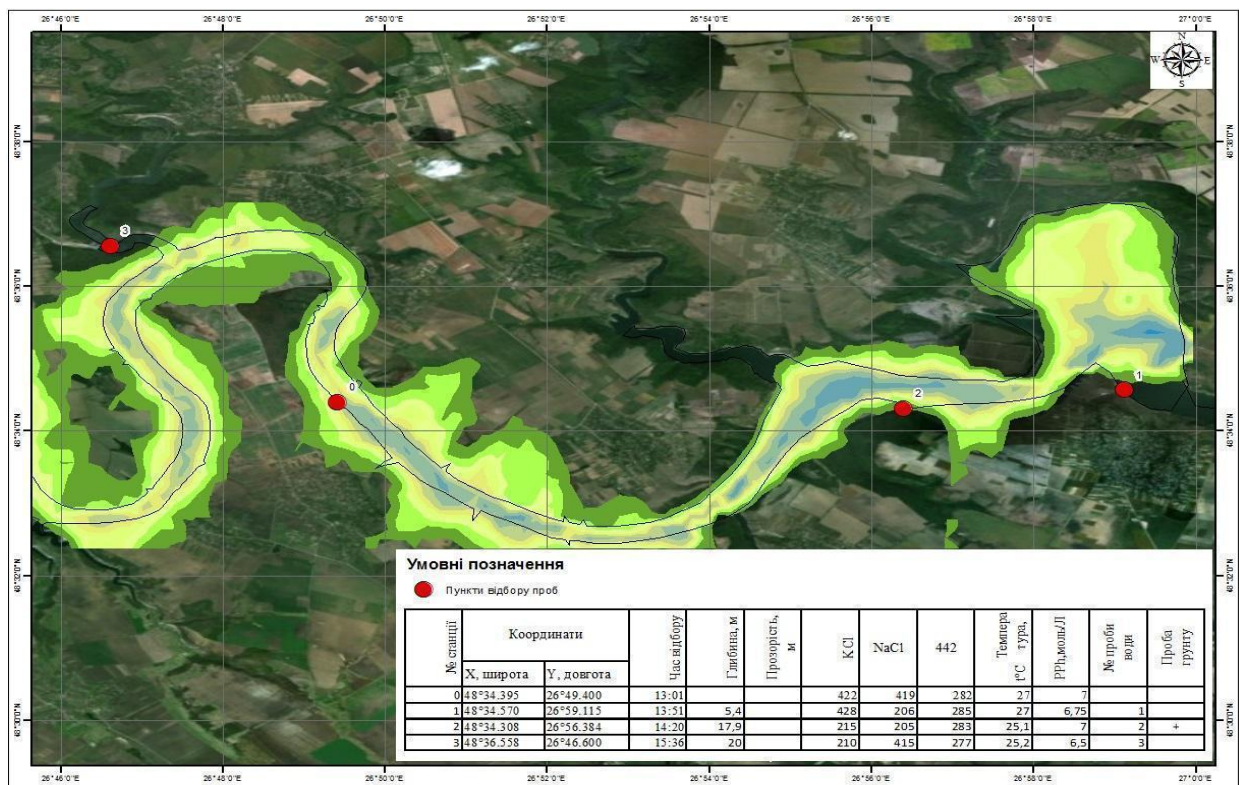


Рисунок 2.10. Схема пунктів відбору проб води та донних відкладів на території Дністровського каньйону, НПП «Дністровські товтри»

Здійснено просторову прив'язку вимірювань. Особливу увагу приділено математичному моделюванню та побудові 3D-моделей досліджуваної території для прогнозування небезпечних процесів, що буде відмічено в наступних розділах монографії. При проведенні експедиційних досліджень враховано низку гідрофізичних показників, а також зібрано гідроакустичні та геоморфологічні дані про рельєф дна досліджуваної лімнологічної системи. В результаті створено базу еколого-геохімічних даних території дослідження з використанням інструментарію сучасних технологій геоінформаційних систем, що надають потужні інструменти багатовимірного просторового аналізу впливовості різних факторів забруднення. Точки з глибинами отримані та доповнені шляхом ехолотної зйомки та об'єднані з додатковою батиметричною інформацією.

Також проводились дослідження відібраних донних відкладів (рис. 2.11). За візуальними характеристиками здійснено опис та проведено хімічний лабораторний аналіз вмісту наступних елементів: азот амонійний, азот нітратний, Рh водної витяжки, алюміній, залізо, марганець, мідь, свинець, кадмій, цинк, хром. У гідрологічний журнал експедиції занесені дані про тип донних відкладів, їх колір і запах, характер донних відкладів прибережної частини, які не можна захопити лотом (каміння, гравій, галька), консистенцію відкладів (щільні, пухкі, рідкі), наявність включень рослинних і тваринних решток, черепашок молюсків тощо.



Рисунок 2.11. Відбір донних відкладів

Результатом проведення вищезазначених робіт є виявлення закономірностей процесів антропогенного впливу на екологічний стан лімнологічних систем. Досліджено процеси евтрофікації, закономірності процесів самоочищення та накопичення забруднюючих речовин у донних відкладах. Комплекс показників екологічної класифікації якості поверхневих вод містить загальні й специфічні показники, що характеризують ступінь забрудненості водного об'єкта. Вихідними даними для екологічної оцінки якості води є насамперед зведені й розрізнені результати систематичного контролю за якістю води у водних об'єктах України, зібрані й оброблені мережею пунктів спостережень і лабораторій систем Мінприроди, Держгідрометслужби та Держводгоспу України. Загальні показники, до яких належать показники сольового складу й трофо-сапробність вод (еколого-санітарні), характеризують звичайні властиві водним екосистемам інгредієнти, концентрація яких може змінюватись під впливом господарської

діяльності. Специфічні показники характеризують вміст у воді забруднюючих речовин токсичної й радіаційної дії [1, 2].

В період проведення експедицій були досліджені обриси і форми берегів, склад берегів, наявність терасових виступів і берегових валів. Обстеження берегової лінії проводилось на човні (рис. 2.12). Наприклад, по периметру берегової лінії Дністровського каньйону зафіксовані вапняки, мергелі, пісковики, сланці, а також граніти та гнейси, що перекриваються лесами. Відзначається близьке до поверхні залягання порід кристалічного фундаменту. Поверхня берегів – це переважно підвищена полого-хвиляста лесова рівнина.



Рисунок 2.12. Приклад обстеження берегової лінії на човні

Здійснено первинне вимірювання глибини, рельєфу дна та структури донних відкладів досліджуваних лімнологічних систем. Мінімальна, з огляду на інформативність, кількість точок вимірювань (з відстанню 500 м між ними) перевищує сотню, робочий шлях без урахування підходів на потрібні курси становить близько 200 км. Методика проведення ехолокаційної батиметрії описана авторами в наступному підрозділі 2.2. Здійснено просторову прив'язку вимірювань, що дає змогу проводити коректне поповнення баз даних та подання результатів вимірювань у форматі, придатному для використання у ГІС [3–6].

Особливу увагу в роботі приділено математичному моделюванню, побудові 3D-моделей досліджуваної території для прогнозування небезпечних процесів, що відбуваються в навколишньому природному середовищі, прогнозу тенденцій і темпів змін екологічного стану, а також створенню бази геоінформаційної системи оцінки рівня техногенних забруднень для підтримки рішень з питань охорони і раціонального використання природних водних ресурсів.

2.2. Ехолокаційна батиметрія в задачах дослідження підводного рельєфу та моніторингу динаміки водного балансу озер

Батиметрія – вивчення рельєфу підводної частини водних басейнів. Одне з найважливіших завдань батиметрії – це отримання карти глибин водойми, що було здійснено під час експедицій в період 2009–2020 років. Особливо важливою є мілководна батиметрія, яка необхідна для досліджень морфології дна, моніторингу екологічного стану водних ресурсів. А головне – вона необхідна для розробки 3D-моделей, що дозволяють прогнозувати катастрофічні наслідки повеней і вживати заходів з їх запобігання. У контексті вирішення завдань батиметрії найбільш відомий метод, який базується на використанні гідроЛокації. Сучасні підводні багатопроменеві гідроЛокатори забезпечують отримання великого обсягу високоточних даних, на підставі яких вирішуються основні завдання батиметрії. Однак висока вартість робіт, пов'язаних з використанням цього методу, не дозволяє застосовувати його при вирішенні завдань батиметрії малих водойм, особливо на регіональному рівні [6]. Як альтернатива гідроЛокації, починаючи з 80-х років ХХ століття, поступово впроваджується технологія дистанційного зондування Землі. Доступність даних дистанційного зондування відкриває можливість реалізувати економічно вигідний спосіб вирішення завдань батиметрії [7].

Метою проведених досліджень під час експедицій була оцінка можливості вирішення більш складного завдання – батиметрії малих водойм. Складність завдання визначається проблемою поширення світла в умовах сильної мутності вод озер.

Метод батиметрії заснований на спектральній залежності глибини проникнення світла у водному середовищі. Тому набір зображень, які отримані в різних спектральних діапазонах, забезпечує різноглибинні зрізи дна і водної товщі, що дозволяє використовувати результати мультиспектральної зйомки для батиметрії водойм. Алгоритм оцінки глибини водойми заснований на спрощеній моделі коефіцієнта відображення водної поверхні, яка враховує основну частину сигналу, але нехтує ефектами розсіювання та внутрішнім відбиванням водної поверхні.

Використовувана методика батиметричної зйомки дозволяє вимірювати глибини безпосередньо в точці розташування човна з установленим ехолотом. Якість синтезованих батиметричних схем суттєво підвищується зі збільшенням кількості відпрацьованих профілів. Вибрана система профілів забезпечує максимально рівномірну щільність покриття ними досліджуваних озер.

Алгоритм отримання батиметричної схеми полягає у перетворенні даних ехолотного профілю для візуалізації результатів гідроакустичного зондування. Дані ехолотного профілю у вигляді файлу з розширенням *.slg експортуються в програму Lowrance Sonar Viewer для двовимірної візуалізації профілю. Програмне середовище забезпечує графічну інтерпретацію даних, при цьому усуваються перешкоди вторинних відбиттів сигналу від поверхні води, інші сторонні шуми, а також фіксуються неоднорідності товщі води у вигляді границь з різною температурою. На цьому етапі можлива фіксація особливостей характеристик донного рельєфу з визначенням їх координат.

В подальшому дані експортуються в текстовий файл формату *.csv, який імпортується редактором таблиць в стандартний табличний формат *.xls. Для отримання значень координат і глибин в таблиці виконується фільтрація інформаційного масиву шляхом використання GPS даних про зміну позиції. Отримана таблиця експортується в програму Surfer, де створюється файл розширення *.srf, що являє собою візуалізовану таблицю. На цьому етапі одержується площинна карта озера і залишається лише необхідна інформація у вигляді добре знятих і видимих основних ізобат. Далі створюється графічний файл *.jpg або *.bmp. При його відкритті у редакторі усуваються похибки, додаються шкали глибин, умовні позначення, необхідні фрагменти зображень, що забезпечує кондиційність синтезованої батиметричної схеми.

Перетворення відносних глибин в абсолютні значення здійснювалося з використанням опорних точок, які відбираються за допомогою ехолота. При проведенні батиметричної зйомки використовувався надувний гумовий човен «Brig Baltic» (рис. 2.13), на якому встановлено ехолот Lowrance: «LMS-527CDF IGPS» (рис. 2.14).

Робоча частота випромінювача звукових хвиль ехолота становить 200 кГц. Частота оновлення сигналу GPS-приймача – 10 Гц. В більшості випадків об'єм кожного ехолотного профілю становить від 5 до 30 тис. вимірюваних значень в залежності від частоти і часу запису в один файл. Кожне значення є інформацією про координати точки зйомки, глибину, дату і час ехолотного проміру, температуру поверхні води, зміщення відносно попередньої точки проміру та іншу допоміжну інформацію.



Рисунок 2.13. Надувний гумовий човен «Brig Baltic»



Рисунок 2.14. Ехолот Lowrance: «LMS-527CDF IGPS»

В процесі обробки використовуються лише значення координат і глибин. Вибірка значень виконується так, щоб на кожен квадратний метр площі озера припадало одне усереднене значення глибини. Приклад побудови маршруту вимірів представлено на рисунках 2.15 та 2.16.

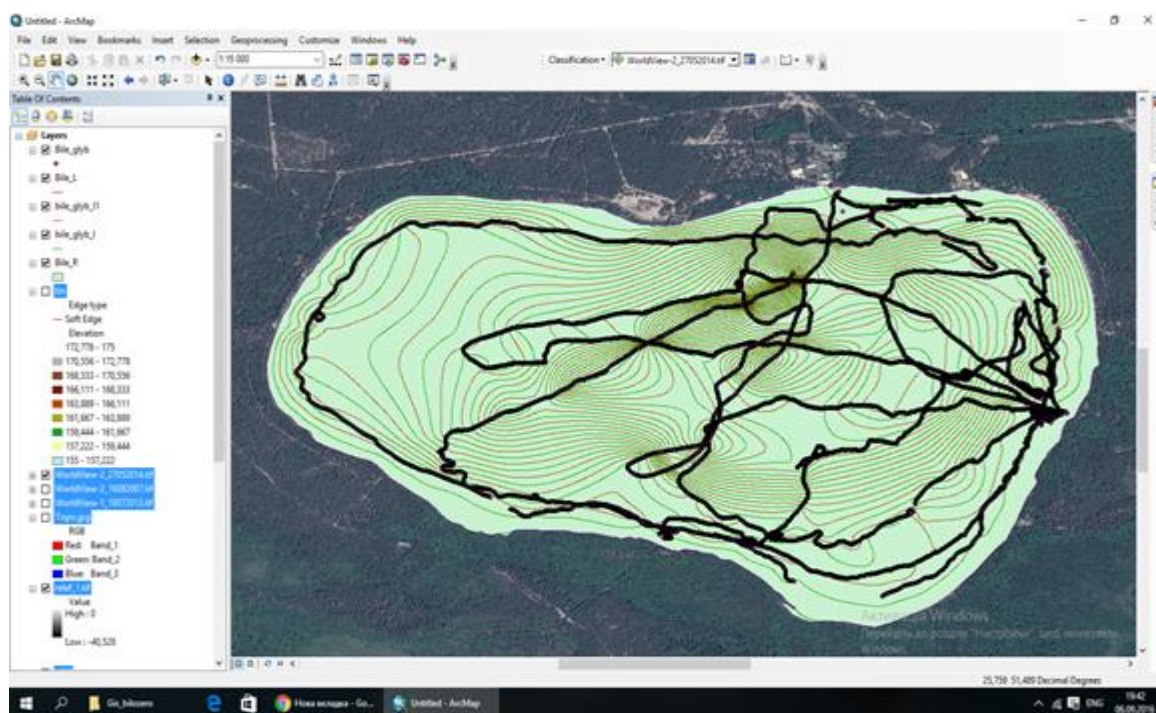


Рисунок 2.15. Маршрут вимірів акваторії озера Біле в робочому вікні ArcGIS (Рівненська область)

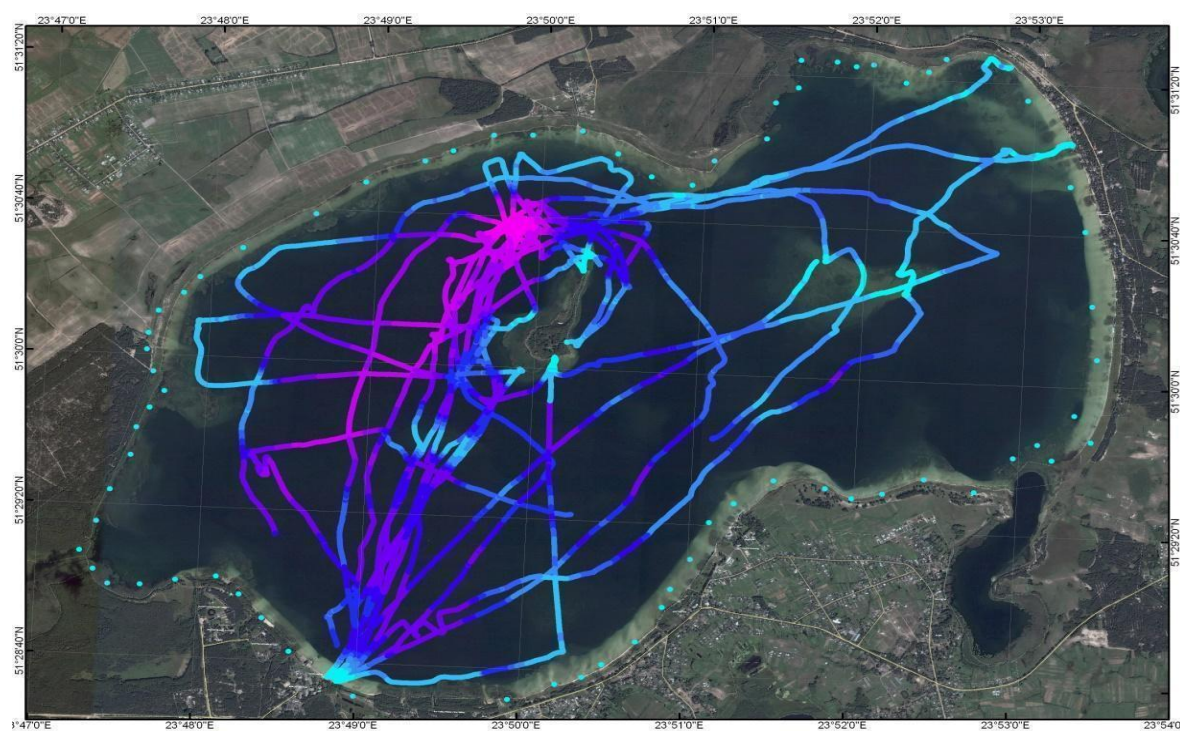


Рисунок 2.16. Маршрут вимірів акваторії озера Світязь (Волинська область)

За результатами проведення зйомки синтезуються картографічні моделі дна озер, створюються батиметричні схеми і гіпсометричні моделі. На основі отриманих даних ехолотного профілювання складені батиметричні схеми досліджуваних озер та створено картографічні моделі рельєфу акваторії затоки Бакота (рис. 2.17), озер Люб'язь (рис. 2.18), Біле (рис. 2.19), Нобель та інших лімнологічних систем, що досліджувались у період 2009–2020 років.

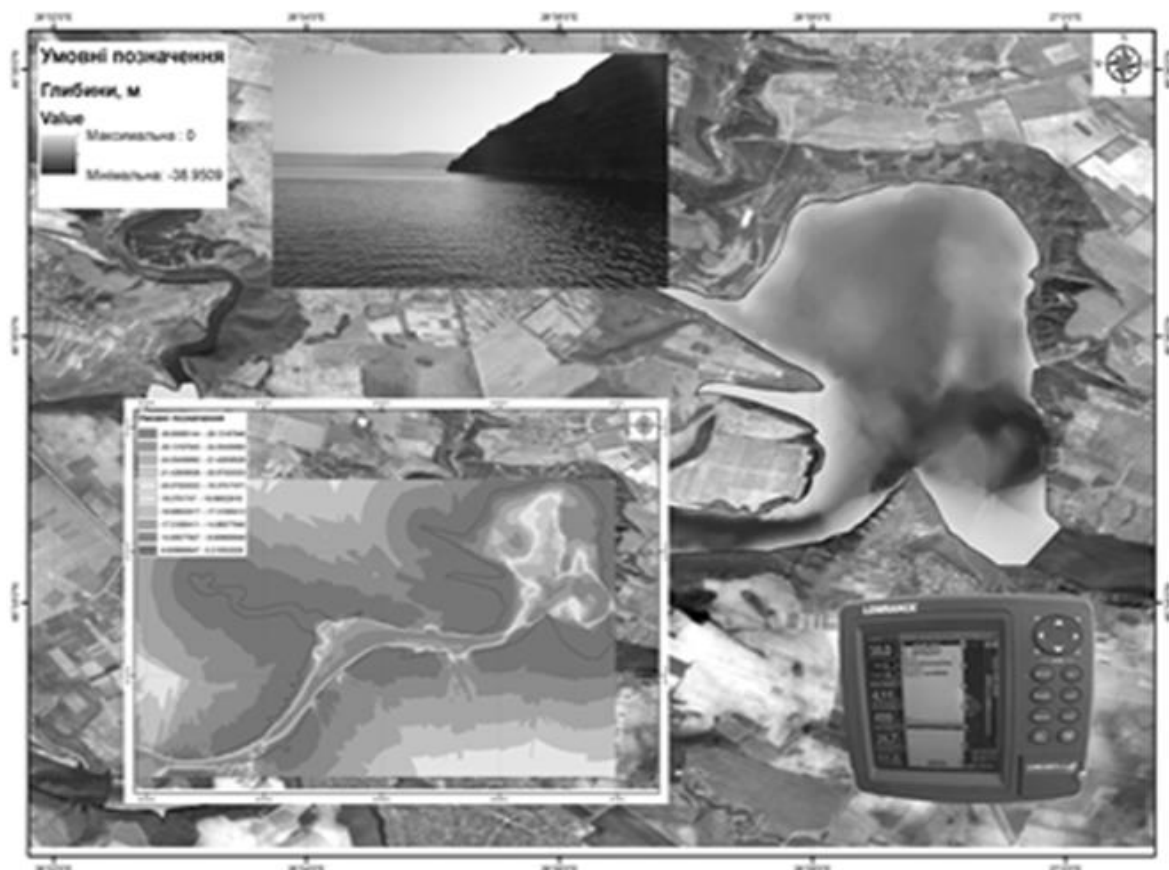


Рисунок 2.17. Результати обробки даних, які отримані за допомогою методу гідролокації затоки Бакота (Хмельницька область)

За результатами досліджень, в програмному середовищі ArcGIS синтезовано геоделі досліджуваних територій, що містять кількісні та якісні показники стану складових довкілля.

Ефективність контактних методів моніторингу поверхневих вод можна підвищувати за рахунок застосування технологій дистанційного зондування Землі з космосу. Для виконання досліджень було отримано космічні знімки Sentinel, MODIS, LANDSAT, QUICK BIRD та інші, просторово-роздільна здатність яких – від декількох дециметрів до декількох сотень метрів та які мають значний потенціал у сенсі їх використання для вивчення багаторічної динаміки природних комплексів. Ширше представлення результатів застосування методів ДЗЗ буде в наступних розділах.

Для досліджень використовувались як архіви космічних знімків супутників, так і знімки безпосередньо за період проведення польових досліджень. При цьому використано функціонал сучасних технологій геоінформаційних систем, що надають потужні інструменти багатовимірного просторового аналізу впливовості різних факторів забруднення.

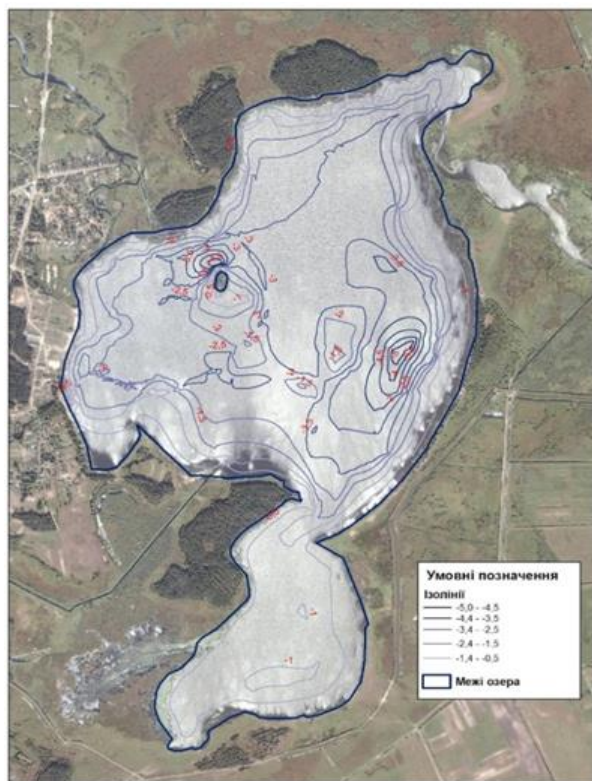


Рисунок 2.18. Батиметрична карта озера Люб'язь (Волинська область)

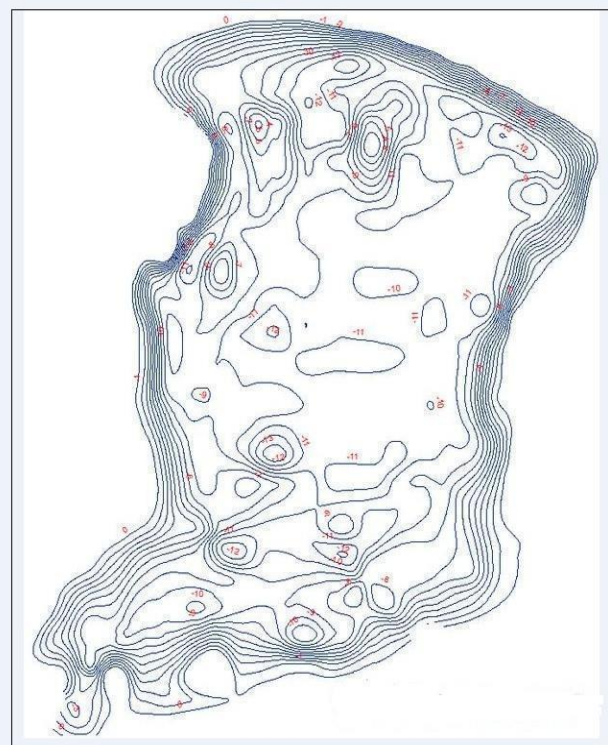


Рисунок 2.19. Батиметрична карта озера Біле (Рівненська область)

2.3. Математичне моделювання та прогнозування впливу антропогенних факторів на лімноекосистеми

Озерні геоекосистеми містять цілу низку підсистем із різноманітними зв'язками між ними. На сьогоднішній день забруднення навколишнього середовища контролюється контактними методами (прямими), але практика показує можливість і ефективність використання непрямих методів. Для прогнозу наслідків цих зв'язків використовують методи системного аналізу, що представлені такими основними групами: методи екстраполяції, методи моделювання та методи експертних оцінок.

Для комплексного аналізу запропоновано провести дослідження лімноекосистеми за допомогою математичного моделювання. В якості наукової основи природокористування використовується модель геосистеми. Ця

модель застосовується для прогнозування, а також з метою управління природокористуванням.

Основною метою прогнозу є оцінка можливої реакції навколишнього природного середовища на прямий чи опосередкований антропогенний вплив, вирішення задач раціонального природокористування у відповідності до очікуваного стану природного середовища. Прогнозування перспектив розвитку певного явища є однією з функцій системи моніторингу. Усі прогнози мають імовірнісний характер і ґрунтуються на даних про стан навколишнього природного середовища на певний момент часу та в минулому. Отримують ці дані завдяки дослідженням, спрямованим на виявлення закономірностей природних процесів, поширення, міграції та перетворення у навколишньому середовищі забруднюючих речовин та їх впливу на довкілля. При побудові прогнозних моделей необхідно виявити фактори, від яких суттєво залежить прогноз, з'ясувати їх співвідношення з прогнозованим явищем, розробити алгоритм і програми моделювання змін довкілля під дією певних факторів.

Експедиційні роботи передбачали дослідження антропогенного навантаження на території лімнологічних систем та виявлення порушених місць. Зазначимо, що, незважаючи на формально високий природоохоронний статус більшості досліджуваних територій водних об'єктів, на деяких з них дозволяється рекреаційна діяльність, яка часто набуває стихійного характеру (рис. 2.20).

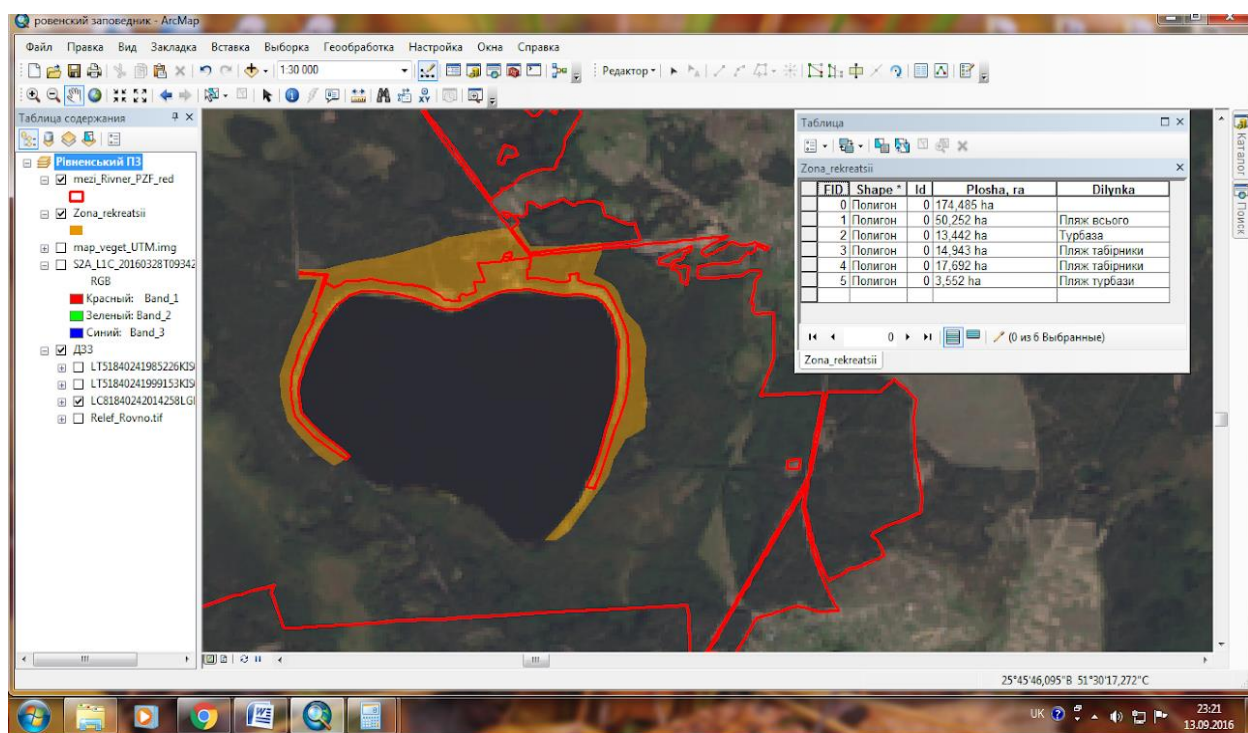


Рисунок 2.20. Робоче вікно модулю ArcMap зони рекреаційного навантаження території озера Біле

Даний чинник створює значне антропогенне навантаження, кількісне та якісне оцінювання та регламентація граничних масштабів якого являють собою актуальну науково-прикладну задачу, в тому числі і проведених протягом 2009–2020 років експедиційних досліджень. В результаті за допомогою GPS-приймача зафіксовано численні місця розташування звалищ неконтрольованого викиду сміття (рис. 2.21), стихійних кемпінгів, місця розташування кострищ, місця випасання худоби. Для прогнозу змін, які можуть відбутися, в результаті проведених польових експедиційних досліджень та здійснених математичних розрахунків на основі цих даних, встановлено, що основними факторами антропогенного впливу (у порядку збільшення інтенсивності) є лісові пожежі та рекреація. Основними реципієнтами впливу є водно-болотні екосистеми, лісові угіддя, акваторія та прибережна зона лімнологічних систем.



Рисунок 2.21. Накопичене сміття вздовж прибережної смуги озера Біле (експедиційні дослідження, липень 2016 р.)

Базовими показниками для оцінки інтенсивності впливу лісових пожеж (If_r , If_l) визначено площу гарей всього на досліджуваній території (S_f), площу території, уражену лісовими пожежами за рік (S_{fi}), кількість загорянь за рік (K_{fi}), віднесені до всієї площі об'єкта (S_r) та його лісовкритої площі (S_l), а також їх зміни за період (рік). Загальна ураженість пожежами у % розрахована за математичним виразом (2.1). Ураженість пожежами за рік у % – за виразом (2.2).

$$If_r = \frac{S_f}{S_r} \times 100; \quad If_l = \frac{S_f}{S_l} \times 100; \quad (2.1)$$

$$If_{ri} = \frac{S_{fi}}{S_r} \times 100; \quad If_{li} = \frac{S_{fi}}{S_l} \times 100; \quad (2.2)$$

Для визначення інтенсивності рекреаційного навантаження необхідно врахувати такі показники: орієнтовна оцінка середньодобової кількості відпочивальників у сезон відпочинку на територіях у-тих ділянок рекреаційних угідь (Kr_{dy}); площа кожної ділянки зазначених угідь (S_y), розрахована засобами ГІС-аналізу; тривалість сезону відпочинку, діб (T_y) для кожної ділянки. Тоді сумарне рекреаційне навантаження на всі ділянки рекреаційних угідь в i -тий рік становитиме:

$$RB_i = \sum \left(\frac{Kr_{dyi}}{S_{yi} \cdot T_{yi}} \right). \quad (2.3)$$

Основними чинниками впливу на поверхневі водні об'єкти є також поверхневий стік з території навколо сміттєзвалища. Тому для аналізу ступеня забруднення поверхневих та підземних водних джерел необхідно мати інформацію про:

- площу та довжину території вздовж поверхневого водного об'єкта, на якій формується поверхневий стік;
- схему розміщення функціональних зон території з визначенням їх площі;
- середньорічний рівень опадів та випаровування;
- перелік та середні концентрації нормованих речовин, що містить поверхневий стік.

До озерних водних екосистем потрапляють забруднюючі речовини шляхом міграції із поверхневим стоком безпосередньо у водойму, а також у ґрунтові та підземні води. Саме тому в дослідженні запропоновано спрогнозувати вплив на водні об'єкти у напрямку міграції забруднюючих елементів.

Рух підземних вод відбувається постійно при найменшому ухилі. Гідрогеологами доведено, що при швидкості водного потоку в гірських породах, меншій за 500 м/добу, рух води носить ламінарний характер. Оскільки швидкості, більші за 500 м/добу, дуже рідкісні і можуть зустрічатися в закарстованих або сильно тріщинуватих породах, то за основний вид руху підземних вод на території дослідження приймемо ламінарний [7–9].

При повному насиченні ґрунту рух води в ньому відбувається під впливом різниці напорів. Рух води в породах підпорядковується лінійному закону фільтрації, відомому як закон Дарсі (Darcy, 1856). Закон говорить: кількість води (Q), яка просочується через породу за одиницю часу, пропорційна падінню напору (різниця у верхньому і нижньому рівнях), площі поперечного перерізу породи (F) і обернено пропорційна довжині шляху фільтрації (L), виміряного за напрямком руху води:

$$Q = k\omega I, \quad I = \frac{\Delta H}{L}, \quad V = \frac{Q}{\omega}, \quad V = kI, \quad (2.4)$$

де Q – витрата потоку крізь переріз, м³/доб;

k – коефіцієнт фільтрації, який залежить від структури порового та тріщинного простору і властивостей води, яка рухається у цьому просторі, м/доб;

ΔH – зміна величини опору, м;

I – градієнт напору, відношення втрат напору до довжини шляху фільтрації, L ;

V – швидкість фільтрації, м/доб.

Основну роль у перенесенні речовини у водообмінних системах виконує її механічне перенесення потоком води, що фільтрується крізь породу. Оскільки частина середовища зайнята частинками породи, реальна (дійсна) швидкість перенесення U пов'язана зі швидкістю фільтрації V таким співвідношенням:

$$U = \frac{V}{n_a}, \quad (2.5)$$

де n_a – активна пористість.

Внаслідок хаотичного розподілу швидкостей руху окремих струменів рідини, виникає механічна дифузія або поздовжня гідродисперсія потоку речовини. Цей процес характеризується коефіцієнтом гідродисперсії D_v , який з загальному випадку є лінійною функцією швидкості фільтрації:

$$D_v = \delta v, \quad (2.6)$$

де δ – константа поздовжньої мікродисперсії;

v – швидкість фільтрації, м/доб.

Отже, при дослідженні основних шляхів розповсюдження шкідливих речовин, пропонується визначити та дослідити міграційний потік забруднювачів. Для цього враховуємо процес фільтрування ґрунтових вод через ґрунтовий масив [10–12]. Умовно виділимо елементарний шар ґрунту завтовшки dl . Зміна вмісту концентрації забруднення в ґрунті dc в межах шару пропорційна вмісту забруднення c_0 , яке надходить із джерела забруднення, і товщині шару dl та описується такою залежністю:

$$dc = -\alpha c_0 dl, \quad (2.7)$$

де dc – зміна вмісту концентрації забруднення в ґрунті;

α – коефіцієнт поглинання (знак «-» вказує на зменшення вмісту забруднення за ходом руху ґрунтових вод);

c_0 – вміст забруднення, яке надходить із джерела забруднення;

dl – товщина елементарного шару ґрунту.

Інтегруючи формулу 2.7. в межах $c_0 \dots c$ та $0 \dots L$, виконавши необхідні перетворення:

$$\int_{c_0}^c \frac{dc}{c} = - \int_0^L \alpha dl, \quad (2.8)$$

де L – довжина створу, отримуємо, що вміст забруднюючих речовин при протіканні через шар ґрунту певної товщини зменшується по експоненті:

$$c = c_0 e^{-\alpha L} \quad (2.9)$$

Тим самим відбувається значне постійне (фонове) забруднення ґрунтових вод та, відповідно, водойм, що спричинено антропогенним впливом. Забруднення компонентів природного середовища лімноекосистем може призвести до надзвичайної ситуації, що дає підставу до залучення Методики оцінки збитків від надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, затвердженої Постановами Кабінету Міністрів України №175 від 15.02.2002 та №862 від 04.06.2003, для прямого врахування можливої надзвичайної ситуації (НС). Розрахунок забруднення підземних вод однією речовиною-забруднювачем проводять шляхом визначення забрудненої частини водоносного горизонту:

$$V_{зпв} = F \times m \times n_a, \quad (2.10)$$

де $V_{зпв}$ – об'єм забруднених підземних вод (м^3);

F – площа забруднення (м^2);

m – середня потужність забрудненої частини водоносного горизонту (м);

n_a – активна пористість водонасиченої товщі (частки одиниці).

В разі повного насичення шару ґрунту рідкими забруднюючими речовинами, їх обсяг у методиці оцінки НС розраховується таким чином:

$$V_{зпв} = F \times H \times u, \quad (2.11)$$

де H – глибина просочування (м);

u – дефіцит насичення (частка від одиниці).

Методика оцінки НС перспективна для застосування і адаптації на об'єктовому рівні окремих локальних водних екосистем як щодо фонових, так і аварійних забруднень, водночас потребуючи певної модифікації. Також вона потребує натурних спостережень у реальному масштабі часу для визначення зони забруднення, розрахунку обсягів аварійного скиду забруднених вод, а також лабораторних аналізів для визначення концентрації забруднюючих речовин у стічних водах. Забруднення поверхневих і підземних вод

потребуватиме також врахування фонового забруднення ґрунтових вод (як бази визначення зони забруднення, відліку збільшення концентрації забруднюючих речовин у поверхневій та ґрунтовій воді 2-го водоносного горизонту) [13–15].

Тому було запропоновано обмежитися найнижчим рівнем якісного імітаційного моделювання у формі гіпотетичної матриці взаємодій. Наповнення матричних списків залежить від будь-якого впливу, в тому числі антропогенного, на компоненти навколишнього природного середовища. Результати розрахунків використовуються як системні змінні – показники динаміки: основних факторів антропогенного навантаження (рекреація, лісові пожежі та ін.), кліматичних показників (температура, опади, зволоження) та стану екосистем (площа певного типу угідь і рослинності в період проведення досліджень за результатами ГІС-аналізу відповідних космічних знімків).

На основі методу експертних оцінок побудовано модифіковану матрицю Леопольда з метою оцінки впливу на компоненти екосистеми навколо озера Біле Рівненського ПЗ (табл. 2.4). Для цієї території визначено наступну шкалу оцінки впливу: «0» (вплив відсутній) – немає зв'язку; «1» (незначний вплив) – зміни в природному середовищі не перевищують межі необоротних природних змін, природне середовище повністю здатне відновитися; «2» (сильний вплив) – зміни в природному середовищі призводять до значних порушень компонентів природного середовища чи екосистеми, окремі компоненти природного середовища знищуються, відбуваються необоротні зміни.

На прикладі озера Біле було визначено категорії найбільш інтенсивних впливів (компоненти, сумарний вплив на які максимальний) та категорії з найменшою силою впливу, а в деяких випадках – його відсутністю (сумарний вплив дорівнює нулю). У комірках матриці відображено присутність зв'язку «вплив – наслідки» за шкалою оцінки ступеня впливу на досліджувану територію. Автоматизація процесу роботи з матрицею Леопольда забезпечена використанням розробленої та реалізованої авторами монографії програми, інтерфейс якої наведено на рис. 2.22. Відповідно, шляхом використання реалізованої у програмі можливості встановлення різного ступеня зв'язку (рис. 2.22) між компонентами (бінарний – якісний, n-значний – кількісний) було заповнено комірки матриці і обчислено оцінку впливу на досліджуваній ділянці.

У даній модифікації матриці Леопольда, призначеній для оцінки впливу на компоненти екосистеми на прикладі озера Біле Рівненського ПЗ, кількість значимих комірок дорівнює 157.

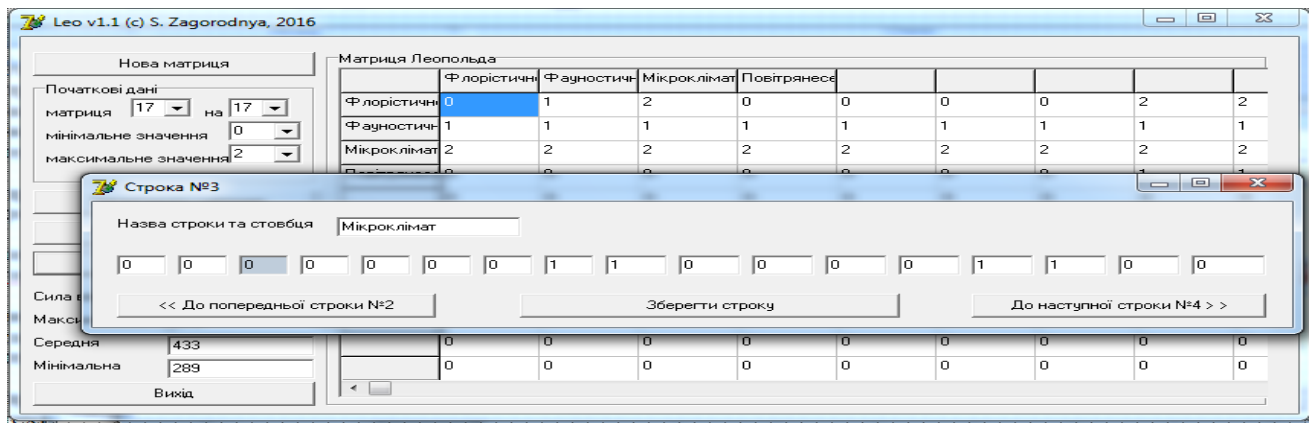


Рисунок 2.22. Інтерфейс програми для роботи з матрицями Леопольда

Для обчислення загальної сили впливу в розробленій програмі використано наступний вираз:

$$I = \frac{N \sum_{i,j=1}^n \omega_{i,j}}{n}, \quad (2.12)$$

де I – загальна сила впливу (інтенсивність зв’язку); $\omega_{i,j}$ – інтенсивність зв’язку між окремими компонентами; N – загальна кількість комірок в матриці; n – кількість значимих комірок в матриці ($\omega \neq 0$).

Для обчисленої таким чином оцінки впливу на компоненти екосистеми навколо озера Біле Рівненського ПЗ встановлено величину загальної сили впливу, що дорівнює 455,5, тобто має значення вище середнього. Також, відповідно до побудованої матриці, здійснено оцінку впливу на окремі компоненти (біотопи) екосистеми. Для більшої зручності замість шкали, діапазон якої визначений певною експертною оцінкою, використана нормована шкала, згідно з якою для будь-якої матриці максимальний вплив дорівнює 1. У нашому випадку вплив ($I_{\text{норм.}}$) на досліджену територію дорівнює 0,79. Розрахунок здійснений лише стосовно факторів і екосистем Рівненського ПЗ, його результати пропонується використовувати як інструмент для порівняння інших лімноекосистем [13–14, 11].

За результатами екологічної оцінки екосистеми Рівненського ПЗ та побудови модифікованої матриці Леопольда для оцінки впливу на компоненти цієї екосистеми визначено категорії значущості впливів. Встановлено, що антропогенне навантаження завдає значного впливу на досліджену ділянку, здебільшого у формі рекреаційної та господарської діяльності, які здійснюються на її території. Відповідно, зусилля щодо забезпечення екологічної безпеки водних об’єктів необхідно зосередити на розробці заходів з мінімізації саме таких видів антропогенного впливу та відобразити це у спеціальних рекомендаціях.

Таблиця 2.4.
Модифікована матриця Леопольда оцінки впливу на компоненти екосистеми навколо оз. Біле

		Біорізноманіття		Абіотичне середовище і природні комплекси							Місцеве населення, рекреанти (автотранспорт, водний транспорт)							
		Флористичне	Фауністичне	Мікроклімат	Повітряне середовище	Геологічне середовище	Ґрунти	Водні об'єкти і біогеоценози	Лісові біогеоценози	Водно-болотні біогеоценози	Будівництво об'єктів інфраструктури	Витоптування території	Порушення прибережної території	Накопичення відходів	Пожежі	Лісозаготівлі	Шумовий вплив	Видобуток бурштину
Біорізноманіття																		
Флористичне		*	1	2										1		2		
Фауністичне		1	*	2										1		2	2	
Абіотичне середовище																		
Мікроклімат		2	2	*											1	1		
Повітряне середовище					*										1			
Геологічне середовище						*					1				1	1		2
Ґрунти							*					2	1			1		2
Водні об'єкти і біогеоценози		1	1	2			1	*			1	1	1	1				2
Лісові біогеоценози		2	2	2	1		1		*			2	2	2		2		2
Водно-болотні біогеоценози		2	2	2	1		1	1		*		1	1	1		1		2
Місцеве населення, рекреанти (автотранспорт, водний транспорт)																		
Будівництво об'єктів інфраструктури						1		1			*	2	2	2			2	
Витоптування території							2	1	2	1	2	*	2	2				
Порушення прибережної території							1	1	2	1	2	2	*	2				
Накопичення відходів		1	1					1	2		2	2		*				
Пожежі		2	2	1	2		1	2	1		2				*	*		
Лісозаготівлі		2	2	1		1	1	2	1							*		
Шумовий вплив			2								2						*	
Видобуток бурштину																		*
Середня сила впливу на компоненти		1,63	1,67	1,71	1,33	1,33	1,25	1,31	1,64	1,44	1,71	1,71	1,5	1,5	1		2	5
Загальна сила впливу I = 455,5																		
min = 289, av = 433, max = 578																		

В результаті зроблено висновок, що для більш детального аналізу забруднення водних геоекосистем та встановлення прямих і зворотних зв'язків необхідно при проведенні моніторингу збільшити частоту аналізів із визначення концентрацій забруднюючих речовин до разу в квартал, а також змінити схему моніторингу [16–29]. При цьому обов'язково залучати методи ДЗЗ та ГІС-технології. Це дає можливість детально та чітко, із використанням мінімальних фінансових, часових і людських затрат, прогнозувати розвиток негативних явищ і процесів, розробляти комплекс заходів, а також своєчасно ухвалювати відповідні рішення щодо зменшення впливу на складові довкілля для значного підвищення рівня екологічної безпеки на регіональному та державному рівнях.

РОЗДІЛ 3

КОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

3.1. Особливості формування фонду архівних і оперативних космічних знімків для дослідження водних об'єктів України

Механізми екологічного моніторингу навколишнього середовища докладно описані в попередніх розділах. Зазначено, що доцільно доповнювати польові методи дослідження технологіями космічного моніторингу територій. Таке рішення слід вважати доцільним, враховуючи декілька наступних факторів. По-перше, проведення безпосередніх польових спостережень по всій території регіону є достатньо дорогим. Також проведення моніторингу лише за рахунок польових методів виключає застосування єдиної системи методів, що ускладнює подальшу оцінку та районування території.

Доцільно виділити два основних завдання, які можна вирішити за допомогою методів ДЗЗ:

- локалізація джерел забруднення для їх подальшої інвентаризації в складі екологічних моделей;
- визначення просторових ареалів забруднення довкілля та диференціації інтенсивності забруднення в межах цих ареалів.

Низка аерокосмічних методів використовує ділянку спектра електромагнітних хвиль завдовжки від 0,3 мкм до 3 м – від ультрафіолетових до ультракоротких радіохвиль. Ділянка оптичних хвиль (0,001–1000 мкм) містить: ультрафіолетовий (0,001–0,4 мкм), видимий (0,4–0,75 мкм) та інфрачервоний (0,75–1000 мкм) діапазони. Видимий діапазон, в якому око здатне виділяти колірні відмінності, ділять на кольорові зони – фіолетову (0,38–0,45 мкм), синю (0,45–0,48), блакитну (0,48–0,50), зелену (0,50–0,56), жовту (0,56–0,59), помаранчеву (0,59–0,62), червону (0,62–0,75). Діапазон інфрачервоного випромінювання поділяють на ближній (0,75–1,3 мкм), середній (1,3–3 мкм) і дальній (тепловий) інфрачервоний (3–1000 мкм) [1–3].

Основна енергія сонячного випромінювання припадає на довжини хвиль 0,3–3 мкм, тобто до межі між середнім і тепловим інфрачервоним діапазонами (цю ділянку спектра називають також світловим діапазоном), а в тепловому інфрачервоному – переважає власне випромінювання Землі. В ділянці спектру, що містить ультракороткі радіохвилі (1–10000 мм), міліметрові, сантиметрові та дециметрові хвилі виділяють в надвисокочастотний (НВЧ) діапазон, який в іноземній літературі називають мікрохвильовим. Ділянки цього діапазону, в

яких працює різна радіоелектронна апаратура супутників, позначають латинськими літерами (наприклад, близько 3 см – X-діапазон, 5,6 см – C-діапазон, 23 см – L-діапазон).

Зйомка при космічних дослідженнях ведеться через товщу атмосфери, яка поглинає частину променів. Електромагнітне випромінювання не поглинається лише у «вікнах прозорості» атмосфери. Велике «вікно прозорості» (0,4–1,3 мкм) припадає на видимий і ближній інфрачервоний діапазони. Найбільш часто використовується вікно 10–12 мкм.

Атмосфера не тільки поглинає, але і розсіює випромінювання, особливо в короткохвильовій частині видимого діапазону. Атмосферна димка спотворює колір об'єктів при зйомці на кольорову плівку, підвищує яскравість зображення і знижує контрасти в короткохвильових зонах – синій, блакитній, що доводиться враховувати при обробці знімків.

В оптичному діапазоні застосовують як пасивні, так і активні методи ДЗЗ. При використанні пасивних методів інформативний сигнал – це відбите сонячне випромінювання. Власним випромінюванням атмосфери і підстилаючої поверхні в оптичному діапазоні можна знехтувати. При використанні активних методів інформативним сигналом є відбите монохроматичне випромінювання лідарних систем [4].

Використовуючи різночасові дані ДЗЗ (рис. 3.1), можна проводити детальний аналіз змін, які відбулися за певний час, та отримати актуальну інформацію про стан озера на поточний момент.

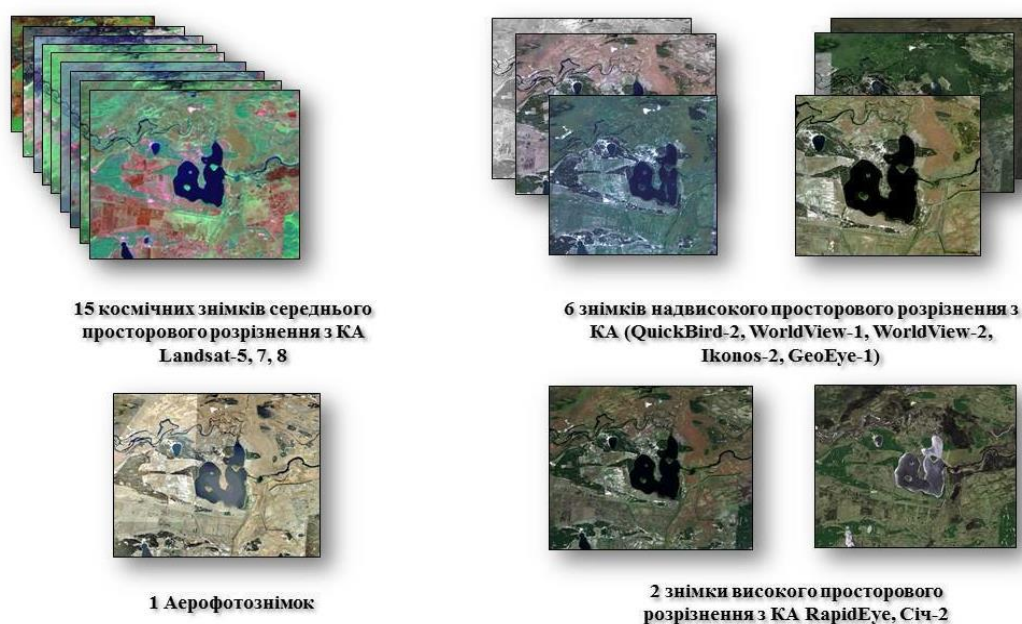


Рисунок 3.1. Різночасові дані ДЗЗ на прикладі озера Нобель

3.2. Дистанційні методи моніторингу та оцінки інтенсивності антропогенного навантаження на лімнологічні системи

Основною характеристикою взаємодії випромінювання в оптичному діапазоні із середовищем, що зондується, є коефіцієнт спектральної яскравості (КСЯ), ρ -величина, яка дорівнює відношенню яскравості даної поверхні в заданому напрямку $B(\lambda)$ до яскравості ідеально розсіювальної поверхні $B_0(\lambda)$ з коефіцієнтом відбиття, рівним одиниці, і освітленої так само, як і дана поверхня:

$$\rho(\lambda) = B(\lambda) / B_0(\lambda). \quad (3.1)$$

За ідеальний розсіювач зазвичай беруть поверхні, які рівномірно розсіюють всі довжини хвиль спектра.

При відбитті світла водним середовищем світловий потік, який випромінюється водною поверхнею, складається з потоку, відбитого від межі поділу «повітря – вода», і світлового потоку з-під водної поверхні. Перша складова називається коефіцієнтом дзеркального відбиття (КДЗВ), друга – коефіцієнтом дифузного відбиття (КДВ). Інтенсивність першої складової залежить від спадного потоку безпосередньо на водну поверхню і КДЗВ. Величина КДЗВ визначається властивостями і станом водної поверхні. Її зміни зумовлюються варіаціями властивостей водної поверхні та комплексного показника заломлення водного середовища у поверхневому шарі води. До чинників, що впливають на величину КДЗВ, належать: хвилювання водної поверхні, наявність на ній нафтових чи інших поверхневих плівок, піни та інших поверхневих утворень, заростання водойм макролітами тощо. Для гладенької водної поверхні КДЗВ можна розрахувати за формулою Френеля, що в разі нормального падіння променів на водну поверхню має вигляд:

$$R_z(\lambda) = (n(\lambda) - 1)^2 + \kappa^2(\lambda) / (n(\lambda) + 1)^2 + \kappa^2(\lambda) \quad (3.2)$$

де n – відносний показник заломлення світла на межі поділу повітря – вода; κ – показник поглинання світла водою.

За допомогою цієї формули можна пояснити зміни величини реєстрованого методами ДЗЗ сигналу за наявності на водній поверхні товстих плівок (товщина плівки $d \gg \lambda$) і заростання водойм. Для завдань екологічної безпеки водних об'єктів найцікавішою є можливість ідентифікації на їх акваторіях нафтових плівок. Ефективність ідентифікації плівок можна оцінювати за критерієм контрасту коефіцієнта відбивання R :

$$K(\lambda) = (R(\lambda) - R_{\phi}(\lambda)) / R_{\phi}(\lambda), \quad (3.3)$$

де R і R_{ϕ} – спектральні коефіцієнти відбивання відповідно нафти і фонові водної поверхні.

Основний внесок у відбитий світловий потік дають інтерференційні ефекти в плівці. Величина коефіцієнта відбивання характеризується інтерференційними коливаннями, коли змінюється товщина плівки d . В міру збільшення товщини плівки ці коливання загасають через поглинання світла нафтою. У природних умовах товщина плівки на поверхні води змінюється від центральної частини плями до периферії, а також під впливом різних чинників. З цієї причини на космічних знімках для зображень нафтових плівок характерне чергування світлих і темних смуг на периферії забруднених ділянок по всій площі забруднення [5–6].

Величина другої складової відбитого від водної поверхні світлового потоку (КДВ) залежить від первинних гідрооптичних характеристик (ПГХ), таких як показник ослаблення α , показник розсіювання β , показник поглинання κ , індикатриса розсіювання тощо. ПГХ, зі свого боку, залежать від концентрації різних розчинених і завислих у воді речовин. Для вирішення завдань моніторингу екологічної безпеки водних об'єктів важливо знати просторовий розподіл в них концентрацій завислих речовин. На космічних знімках в оптичному діапазоні ділянки акваторій з вищою концентрацією завислих речовин зазвичай світліші. Спектральне поглинання чистою водою зростає з довжиною хвилі. У ближній і середній ІЧ-зонах цей чинник зумовлює низькі значення КДВ. Розсіювання в чистій воді відбувається на флуктуаціях щільності [7–10].

Поглинання світла завислими частинками залежить від їх природи. Поглинанням світла неорганічними завислими речовинами, як правило, можна знехтувати. У випадку завислих частин біологічного походження (фітопланктон, детрит) спектральний показник поглинання світла має різко окреслені локальні максимуми, положення та інтенсивність яких визначається вмістом у завислих речовинах різних пігментів. Для завдань управління екологічною безпекою водних об'єктів важливо знати вміст у фітопланктоні хлорофілу, тому що цей показник характеризує ступінь евтрофування вод. Установлено, що спектр поглинання хлорофілу-а в оптичному діапазоні має два великі максимуми з центрами на довжинах хвиль $\lambda_1 = 430$ і $\lambda_2 = 675$ нм.

За високого вмісту у фітопланктоні інших пігментів, у спектрі КСЯ можливі локальні мінімуми. Врахування спектральних залежностей ПГХ показує, що спектральна залежність КДВ має локальний максимум у

центральної частині оптичного діапазону, тому що у короткохвильовій частині КДВ зменшується через поглинання «жовтою речовиною», а у довгохвильовій і ближній ІЧ – внаслідок поглинання чистою водою.

Зі збільшенням концентрації завислих речовин максимум спектрального КДВ зміщується в довгохвильову зону. Спектральна залежність КДВ може мати локальні мінімуми, пов'язані з поглинанням пігментами фітопланктону.

У дуже каламутних водах наявність пігментів фітопланктону відбиває лише одна смуга поглинання поблизу $\lambda = 675$ нм. У прозорих водах з низьким вмістом органічних завислих речовин мінімуми в спектрі КДВ, зумовлені поглинанням пігментами фітопланктону, не виявляються зовсім. Однак і в цьому разі спектр КДВ може містити інформацію про концентрацію фітопланктону. Якщо глибина водного об'єкта менша за товщину шару, який формує відбитий світловий потік, то інтенсивність відбитого від водної поверхні світлового потоку залежить також від глибини дна і коефіцієнту його відбивання. Наявність вертикального градієнта концентрації завислих речовин призводить до збільшення КДВ зі зростанням концентрації з глибиною і до зменшення КДВ – у протилежному випадку. Зміна КДВ буде тим сильнішою, чим більша величина градієнта і чим ближче до поверхні води він знаходиться.

Характер впливу хвилювання на коефіцієнт відбивання в ІЧ-діапазоні залежить від кута спостереження: за малих кутів він зростає зі збільшенням хвилювання, а коефіцієнт випромінювання, відповідно, спадає; за великих кутів спостерігається зворотна картина.

Термодинамічна температура поверхневого шару води безпосередньо впливає насамперед на випромінювальні характеристики водної поверхні. Ця залежність визначається функцією Планка і покладена в основу визначення температури поверхневого шару води у морях і внутрішніх водоймах методами ІЧ-радіометрії. Варто враховувати такі чинники, що утруднюють оцінку термодинамічної температури за даними ІЧ-радіометрії:

1) яскравісна температура залежить не тільки від термодинамічної, а і від коефіцієнта випромінювання;

2) власне випромінювання водного середовища формується у тонкому шарі завтовшки до 0,02 мм, температура якого зазвичай відрізняється від температури глибших шарів.

Вплив термодинамічної температури на відбивні властивості водної поверхні значно слабший, ніж на випромінювальні властивості. У спектральному діапазоні 3–11 мкм максимальний коефіцієнт відбивання спостерігається при температурі 20 °С. Зі зниженням температури (<20 °С) чи з

її підвищенням ($>20^{\circ}\text{C}$) спостерігається незначне зменшення відбивної здатності води. При довжині хвилі 10,6 мкм зміна коефіцієнта відбивання помітніша, ніж при довжині 3,39 мкм.

Основні чинники, що впливають на діелектричну проникність (ДП) води, – солоність і температура [3–8]. Крім розглянутих, на величину ДП водного середовища впливають такі чинники, як поверхневі плівки і пінні утворення. ДП піни обернено пропорційна концентрації повітря. Спектральний хід ДП піни аналогічний спектральному ходу ДП води. Уявна частина ДП збільшується з довжиною хвилі [6,7].

Приймачі випромінювання, чутливі до променів різних спектральних діапазонів, дають інформацію про різні характеристики об'єктів. Найбільш широко використовуються приймачі відбитого сонячного випромінювання, які реєструють його різну інтенсивність залежно від спектральної відбивної здатності досліджуваних об'єктів, і в зв'язку з цим ми отримуємо різні зображення цих об'єктів на знімках.

Випромінювальні і відбивні властивості підстилаючих поверхонь залежать не тільки від їхніх діелектричних характеристик, а й від структури поверхні. За активного зондування акваторій у НВЧ-діапазоні на величину реєстрованого сигналу здебільшого впливають чинники, пов'язані зі зміною хвилювання водної поверхні, – швидкість вітру, наявність поверхневих плівок, топографія дна. Значно меншим виявляється вплив солоності і температури. Крім того, впливають хвилювання, наявність піни та інші зазначені чинники, які слід враховувати при використанні методів ДЗЗ для екологічного моніторингу лімнологічних систем.

Алгоритм розпізнавання типів забруднень поверхневих вод. Аналіз ознак дешифрування забруднень лімнологічних об'єктів, які використовуються для візуального аналізу космічних знімків, а також методів, що застосовуються для моніторингу гідроекосистем, показав необхідність створення автоматизованої системи моніторингу стану досліджуваних об'єктів, за допомогою якої буде можливо виділяти аномальні ділянки на досліджених озерах та класифікувати їх в автоматичному режимі. Для вирішення поставленої задачі був створений алгоритм, який містить такі етапи:

1. Візуалізація матеріалів ДЗЗ;
2. Підкреслювання перепадів яскравості границь на космічних знімках;
3. Фільтрація зображень за кольоровістю для виділення аномальної ділянки на водній поверхні;

4. Векторизація контуру аномальної ділянки;
5. Класифікація типів забруднень водних об'єктів.

Вхідними даними для роботи алгоритму є матеріали космічних зйомок. Рекомендується аналізувати знімки середньої просторової здатності. Для аналізу космічних знімків необхідно візуалізувати їх на екрані монітору, що реалізується в блоці візуалізації матеріалів космічних зйомок. Блок підвищення яскравості даних ДЗЗ реалізує функції, які дозволяють підкреслити перепади яскравості границь, що дозволяє з більшою точністю виділяти аномальні ділянки на фоні водної поверхні. Виділення аномальної ділянки на водному об'єкті забезпечується властивостями зважених частинок виділятися на космічних знімках з більшим або меншим ступенем яскравості. Вхідними та вихідними даними є оброблені космічні знімки.

Вхідними даними блоку векторизації виділеної аномальної ділянки є зображення водної поверхні, на якому чітко виділяється аномальна ділянка. Вихідними даними блоку є контур виділеної ділянки, представлений у векторному вигляді, що дозволяє з подальшого розгляду вилучити космічні знімки, а аналізувати лише контури аномальних ділянок. Перехід від аналізу зображень до аналізу векторизованих контурів дозволяє підвищити ефективність обробки космічних знімків.

Вхідними даними блоку визначення типів забруднень є структурні дешифрувальні ознаки забруднень водної поверхні, а також виділений векторизований контур аномальної ділянки. На основі сумісного аналізу вхідних даних та результатів застосування статистичних функцій визначається тип забруднення.

Візуалізація матеріалів ДЗЗ. Під візуалізацією матеріалів космічних зйомок слід розуміти процес представлення даних, що обробляються, у вигляді зображення з метою максимальної зручності їх сприйняття користувачем, при цьому всі дані, що приймаються, повинні бути відображені на екрані комп'ютера.

У даній роботі для візуалізації космічних знімків використовувалися відомі алгоритми, які представляють дані, що отримуються, в чорно-білому або кольоровому форматі.

Підкреслювання перепадів яскравості границь. У завданнях розпізнавання й класифікації об'єктів на космічних знімках необхідно виділяти границі об'єктів, підкреслювати перепади яскравостей. Для реалізації таких завдань використовують так звані диференціальні оператори. У таких операторів сума елементів віконної функції h дорівнює нулю, що свідчить про

те, що в зонах зображення з постійною яскравістю вони дають нульовий відгук. Диференціальні оператори використовуються для обчислення градієнта функції. Операція обчислення градієнта перетворить вихідне зображення в нове з підкресленими границями. Класична функція градієнта має вигляд:

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \cdot \cos \theta + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \cdot \sin \theta. \quad (3.4)$$

Абсолютне значення функції градієнта визначається як

$$S = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.5)$$

а кут θ дорівнює

$$\theta = \arctg \left(\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x} \right). \quad (3.6)$$

На практиці застосовують різні апроксимації абсолютного значення градієнта:

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (3.7)$$

Для зменшення витрат на обчислення можна скористатися формулою:

$$S = |S_x| + |S_y| \quad (3.8)$$

або

$$S = \max(|S_x|, |S_y|). \quad (3.9)$$

При цьому напрямок границь визначається як

$$\theta = \arctg(S_x/S_y), \quad (3.10)$$

де S_x й S_y – збільшення функції зображення за напрямками x і y , які обчислюються як

$$S_x = f(x+1, y) - f(x, y), \quad S_y = f(x, y+1) - f(x, y). \quad (3.11)$$

Відповідні вікна для визначення першої похідної в напрямках x і y :

$$h_x = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}, \quad h_y = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (3.12)$$

Ідентифікацію антропогенного навантаження на лімносистеми Нобельського ландшафту виконано шляхом реєстрації інтенсивності евтрофікації озер. Розроблено методику дослідження антропогенного

навантаження на лімносистеми шляхом реєстрації параметрів інтенсивності процесів евтрофікації, яку апробовано на озері Нобель [8–12].

Для оцінки техногенного навантаження на лімнологічну систему оз. Нобель використовувались космічні знімки з відкритих джерел, зокрема знімки високої роздільної здатності Spot, GeoEye та Digitalglobe (оптичний діапазон). Порівняльний аналіз різних космознімків озер Нобель та Засвітське, а також заплави р. Прип'ять представлено на рис. 3.2–3.12.

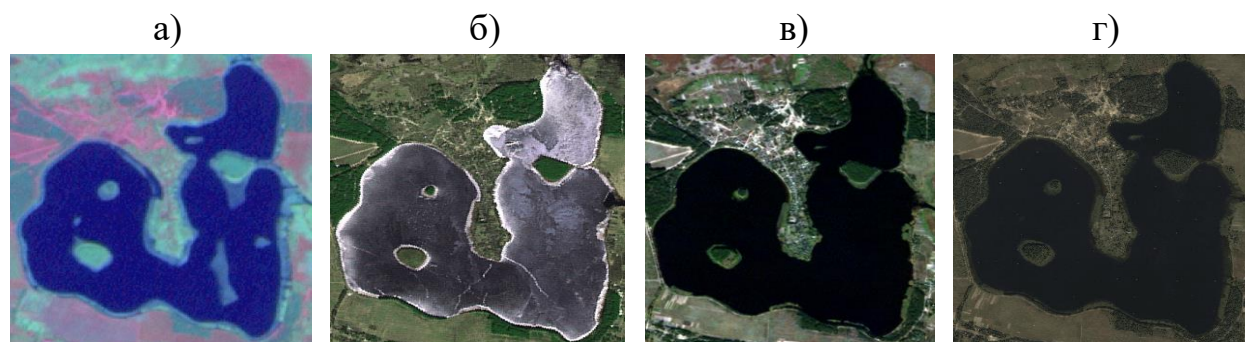


Рисунок 3.2. Космознімки озер Нобель та Засвітське: (а) Landsat-7; (б) Січ-2; (в) RapidEYE; (г) World View-2

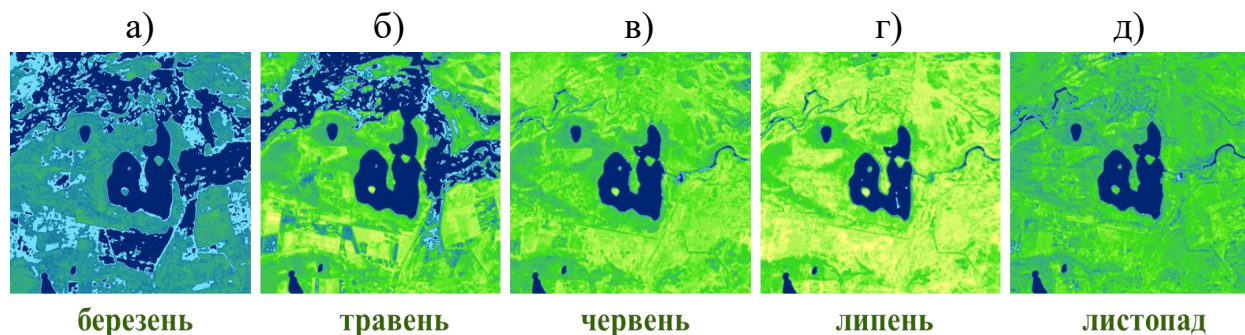


Рисунок 3.3. Моніторинг гідрологічного режиму озера: (а) березень, (б) травень, (в) червень, (г) липень, (д) листопад

Шляхом підбору даних ДЗЗ надвисокого просторового розрізнення, картографічних матеріалів та описової інформації, створено детальну цифрову карту границі водного об'єкта та прилеглої території (рис. 3.4).

За результатами аналізу різночасових даних ДЗЗ (рис. 3.5) визначено основні періоди сезонної мінливості водного об'єкта. У більшості водойм в теплі періоди року відбувається буйне розмноження фітопланктону («цвітіння») та водоростей. У холодну пору року у воді максимальна прозорість, а водорості опускаються на дно, виключаючи ранню весну, коли тільки починає танути сніг і талі води несуть в річки і озера сміття, пісок і різні ґрунтові частки.

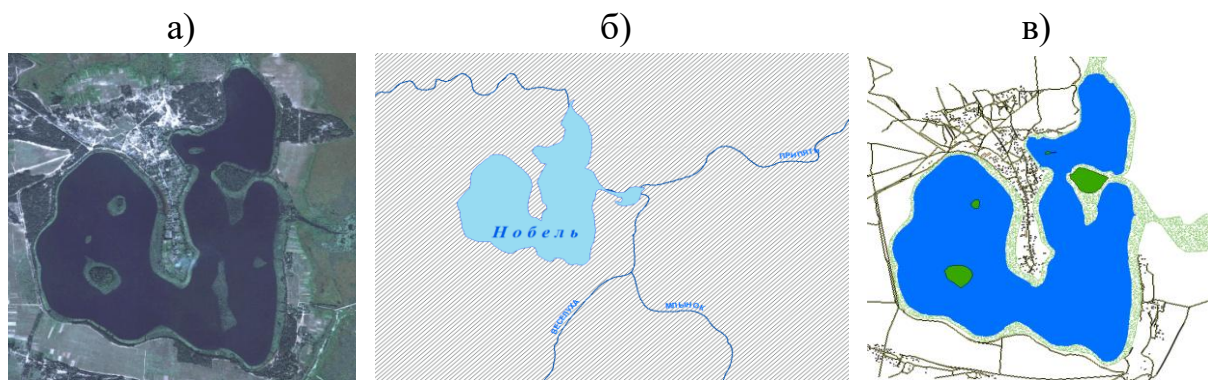


Рисунок 3.4. Цифрова карта меж водного об'єкта та прилеглої території (а) – космічний знімок Landsat, (б), (в) – цифрові карти границі оз. Нобель та прилеглих територій

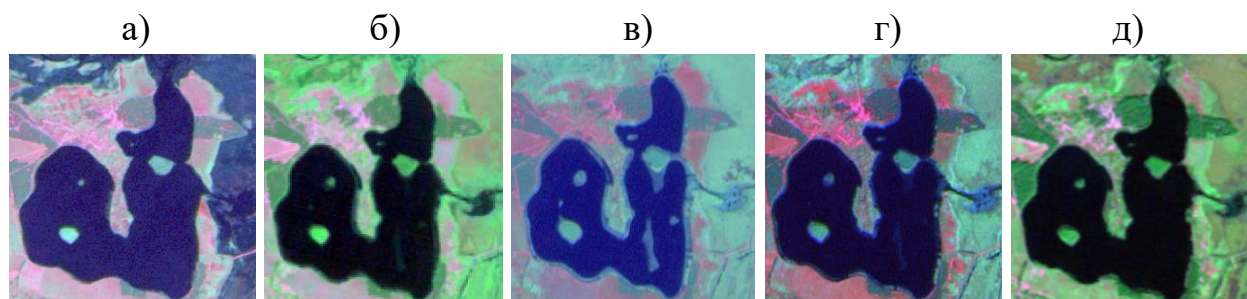


Рисунок 3.5. Основні періоди сезонної мінливості водного об'єкта:
(а) травень, (б) червень, (в) липень, (г) серпень, (д) жовтень

Тому для моніторингу водної рослинності слід використовувати дані ДЗЗ за літній період (липень – серпень), а для визначення глибини – осінні (жовтень – листопад), зроблені в бездощовий період (рис. 3.5).

Для визначення прибережної рослинності та техногенного навантаження на водний об'єкт проведено класифікацію прилеглої території о. Нобель (рис. 3.6). Використання багатоспектральних даних ДЗЗ з різним просторовим розрізненням суттєво впливає на точність ідентифікації прибережно-водної рослинності.

На екологічний стан водойми найбільше впливає надходження біогенних елементів (азоту – нітрати, і фосфору – фосфати) зі зливовими та дощовими водами від населених пунктів, поверхневим і внутрішньогрунтовым стоком – із сільськогосподарських угідь, а також точкове скидання стічних вод різних виробництв – побутових, промислових, тваринницьких комплексів тощо. Надмірне надходження біогенів призводить до інтенсивного розвитку фітопланктону і змін водної екосистеми в цілому. В останні десятиліття «цвітіння» води все більш посилюється, і причиною цього є евтрофікація водойм – вплив життєдіяльності людини.

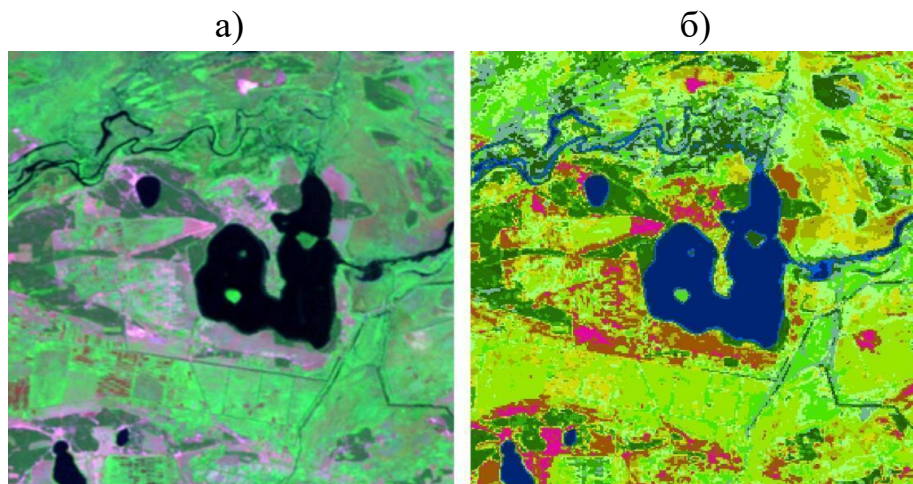


Рисунок 3.6. Космознімки прибережної рослинності (а) прилеглої території (б) оз. Нобель

Проведено класифікацію прилеглої до озера території та визначено території сільськогосподарських угідь (забруднення пестицидами та нітратами) та забудови (забруднення каналізаційними стоками та фосфатами) (рис. 3.7). Використовуючи ЦМР, проведено моделювання забруднення озера стічними водами та в результаті ведення сільськогосподарської діяльності (рис. 3.7).

Проведено класифікацію водної рослинності з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ (рис. 3.8, 3.9) з різним просторовим розрізненням.



Рисунок 3.7. Алгоритм класифікації прилеглої до оз. Нобель території (а) та визначення території сільськогосподарських угідь і забудови (б)

Проведення класифікації водної рослинності

LAI – Leaf area Index

NDVI – Normalized difference vegetation index

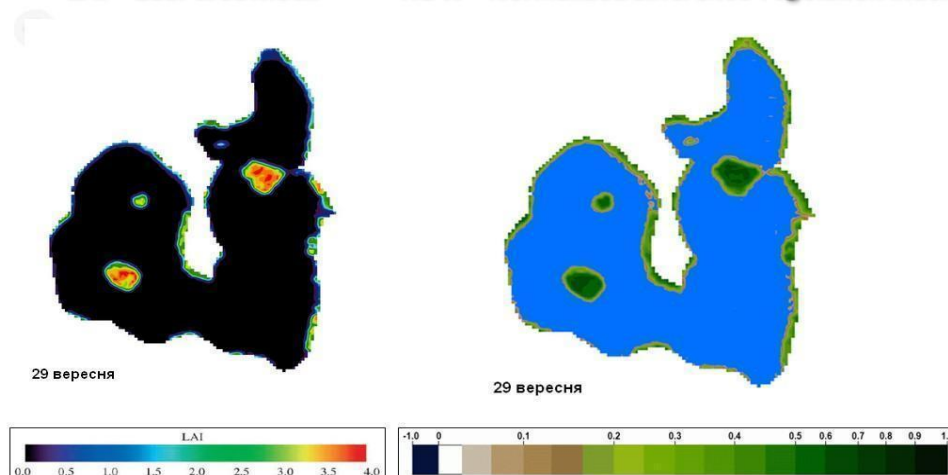


Рисунок 3.8. Алгоритм класифікації водної рослинності оз. Нобель з використанням багатоспектральних даних ДЗЗ з різним просторовим розрізненням

Проведення класифікації водної рослинності

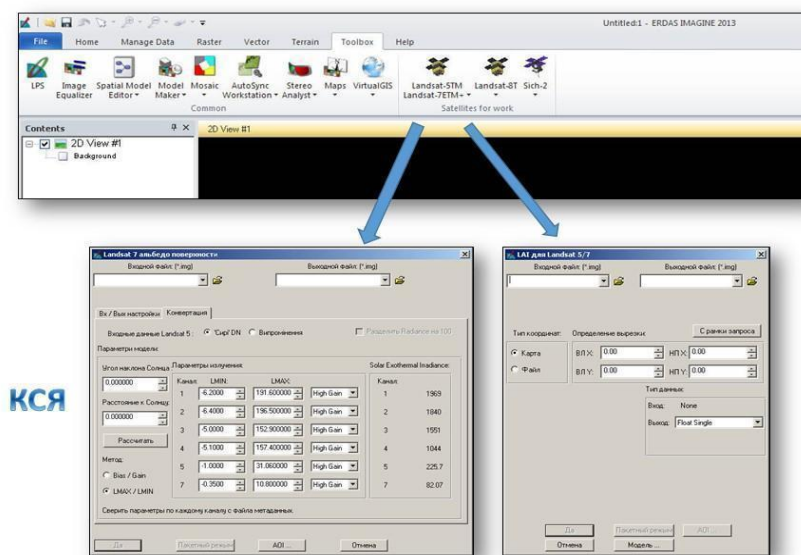


Рисунок 3.9. Діалогове вікно програми ENVI для проведення класифікації водної рослинності

Класифікація водної рослинності проводилася за космічним знімком Landsat-5, 7 (період з березня по червень з урахуванням того, що у липні – період максимального заростання озера) за допомогою визначення нормалізованого індексу вегетації (NDVI) (рис. 3.10–3.11).

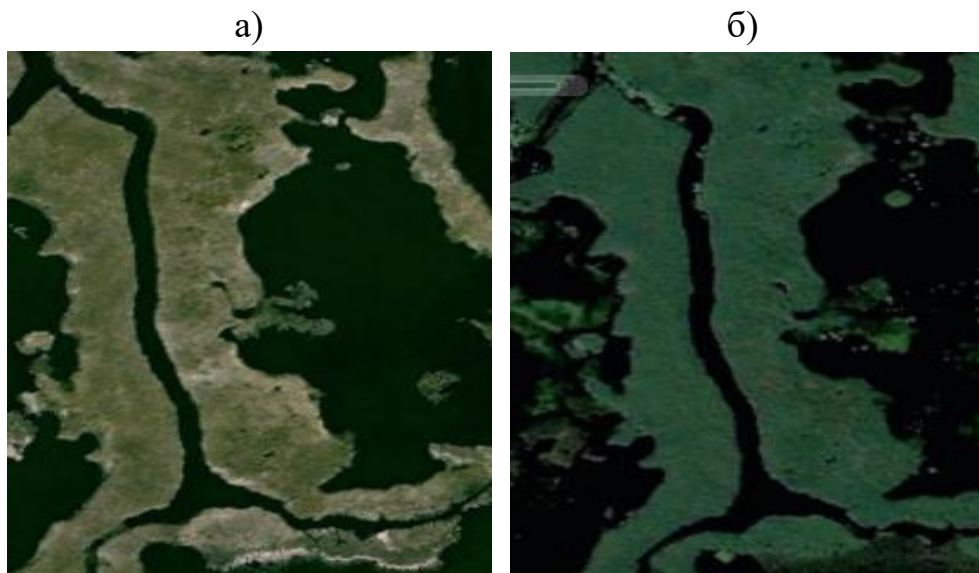


Рисунок 3.10. Сезонна динаміка повітряно-водної рослинності на космічних знімках: (а) квітень, (б) червень

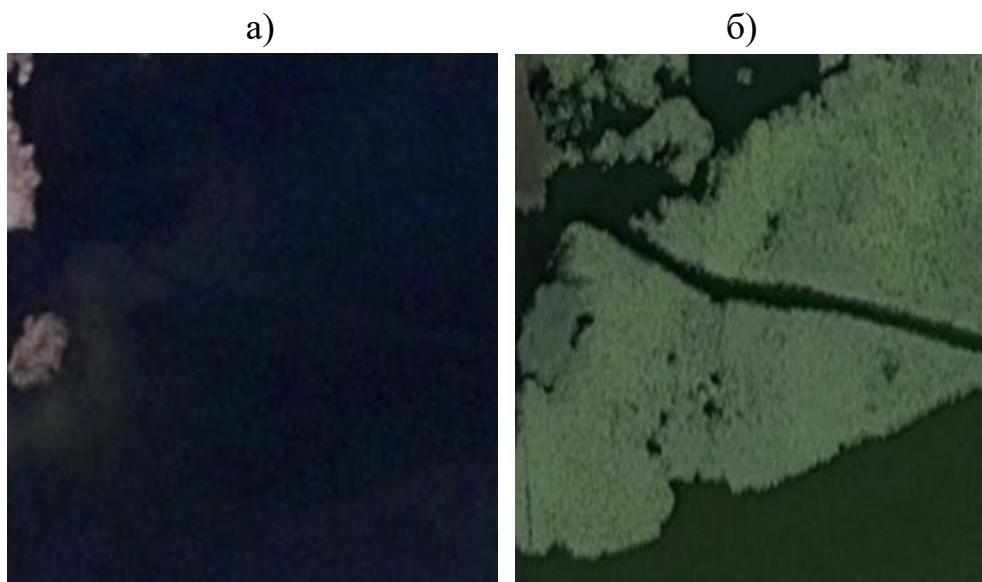


Рисунок 3.11. Сезонна динаміка повітряно-водної рослинності на космічних знімках: (а) березень, (б) червень

NDVI дозволяє розділити водну рослинність на основні класи:

- гелофіти (повітряно-водні рослини);
- нейстофіти та плейстофіти (рослини з плаваючим на поверхні листям);
- гідатофіти (рослини, які повністю або значною мірою занурені у воду).

Визначення температурного режиму водного об'єкта з використанням різночасових даних ДЗЗ (тепловий канал) – рис. 3.12. Як відомо, всі водойми (штучні і природні) прогріваються зверху вниз.

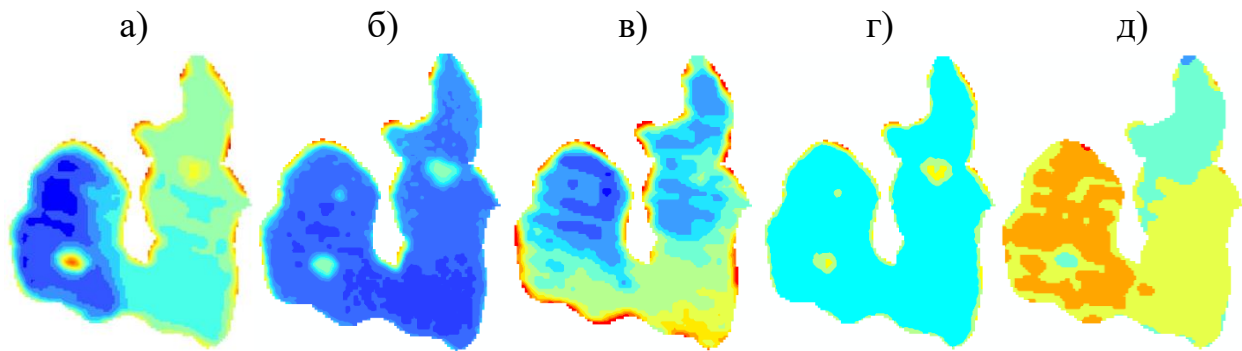


Рисунок 3.12. Моніторинг температурного режиму озера: (а) квітень, (б) травень, (в) липень, (г) серпень, (д) жовтень

Температура води залежить від великої кількості чинників, серед яких на оброблюваних знімках обов'язково враховувалися:

- сонячна радіація;
- випаровування;
- теплообмін з атмосферою;
- перенесення тепла водними течіями;
- турбулентне переміщення води.

Отже, можна зазначити, що проведені дослідження дозволило скласти еколого-інформаційної моделі евтрофікації озерних екосистем та провести комплексну оцінку екологічного потенціалу досліджуваних озер. Оперативний моніторинг глибин є важливою задачею для розв'язання проблем, пов'язаних із природоохоронними функціями озерно-лісових комплексів і прилеглих територій. Все зазначене шляхом інтеграції може бути покладене в перспективі до створення електронних паспортів всіх лімнологічних систем України з метою організації раціонального природокористування та управління екологічними системами окремих територій.

3.3. Космічний моніторинг евтрофікаційних процесів в акваторіях лімнологічних систем

Внаслідок антропогенного навантаження (сільськогосподарської, рекреаційної діяльності) в водоймах поширюється явище евтрофікації. Виникає замулювання, і розвивається синантропна рослинність, яка згодом витісняє традиційні природні види. Суцільна вирубка цілих виділів соснового лісу змінює гідрорежим, екологічну ситуацію довкілля, що відображається на біорізноманітності території, особливо ці негативні зміни впливають на рослинність зооценозів та самого водоймища. На мілководдях вода влітку

добре прогрівається, особливо в прибережній зоні. Це сприяє активному росту вищої водної рослинності. Поряд з позитивним впливом на екосистему озера – аерацією води, зайва фітомаса сприяє заболоченню. У процесі обміління озер починається наступ рослин на них, в результаті чого озера замулюються, погіршується їх санітарний стан, скорочується їх водна ванна. Проблема долі озер серйозна і має бути прогнозованою, адже йдеться про значний антропогенний вплив. Отже, озера постійно вимагають до себе дбайливого і господарчого ставлення. Тому постає необхідність у створенні системи моніторингу та охорони лімнологічних об'єктів за допомогою ДЗЗ. У якості об'єкта дослідження обрано озеро Нобель.

Методами дистанційного зондування землі з використанням геоінформаційних систем вирішено задачі, пов'язані з формуванням бази даних системи екологічного моніторингу лімносистем для оцінки гідроекологічного потенціалу Нобельського ландшафту. Застосовано ДЗЗ/ГІС-технології для кількісної оцінки зміни морфометричних параметрів акваторій шляхом інтеграції даних космічного і наземного моніторингу та топографічних карт, розроблено продукційні правила і алгоритми, що визначають високу інформаційну ємність синтезованих еколого-картографічних моделей евтрофікації озера Нобель. Використовувані відомі методи базуються на описових даних, що припускає ряд значних обмежень при оперативному прогнозі та оцінці реальних евтрофікаційних явищ. Тому запропоновано методологію обробки первинної, аналітичної і прогнозної інформації для аналізу евтрофікації лімносистем, яка базується на методах тематичної обробки космічних знімків Західнополіського регіону та використанні можливостей сучасних ГІС.

Результати космічного моніторингу та застосування інформаційно-аналітичних технологій забезпечують оцінку динаміки морфометричних характеристик і просторового розподілу таких досліджуваних інтегральних гідроекологічних параметрів, як форма і периметр берегової смуги та процесів евтрофікації водойм [13–16].

Найбільш достовірні та точні результати реалізації завдання отримуються при використанні в якості первинних даних багатозональних космічних знімків високої просторової роздільної здатності. Використовуючи гістограми зональної яскравості, ідентифікуються класи «вода» і «суша» на основі правила:

$$E \in \begin{cases} W_1, I \leq I_r \\ W_2, I \geq I_r \end{cases}, \quad (3.13)$$

де E – елемент зображення;
 W_1 і W_2 – класи «вода» і «суша»;
 I – зональна яскравість в ближньому інфрачервоному (ІЧ) каналі зйомки;
 I_r – її значення, що відповідає локальному мінімуму, який розділяє два основних локальних максимуми на одновимірній гістограмі.

Синтезована еколого-картографічна модель (рис. 3.13) берегової лінії озера Нобель фіксує динаміку сезонних змін контуру водної поверхні, обумовлену співвідношенням компонент природного водного балансу, які є вирішальним фактором коливань рівня води досліджуваної лімносистеми.

Співставлення контурів берегових ліній досліджуваного водного об'єкта на різночасових тематичних картах дає можливість ідентифікації сезонних змін границь озера внаслідок танення снігу і льоду у весняний період. Отримані результати картографічного моделювання просторових параметрів водойми доцільно використовувати для актуалізації еколого-картографічних даних.

Даний алгоритм розпізнавання достатньо ефективний для оконтурювання дзеркала водойм Нобельського ландшафту і прилеглих територій. Не ідентифікуються річки та гідромеліоративні системи, ширина яких співмірна з просторовою роздільною здатністю космознімків. Для ідентифікації акваторій середніх і малих рік та меліоративних каналів потрібні космічні знімки більшої роздільної здатності.

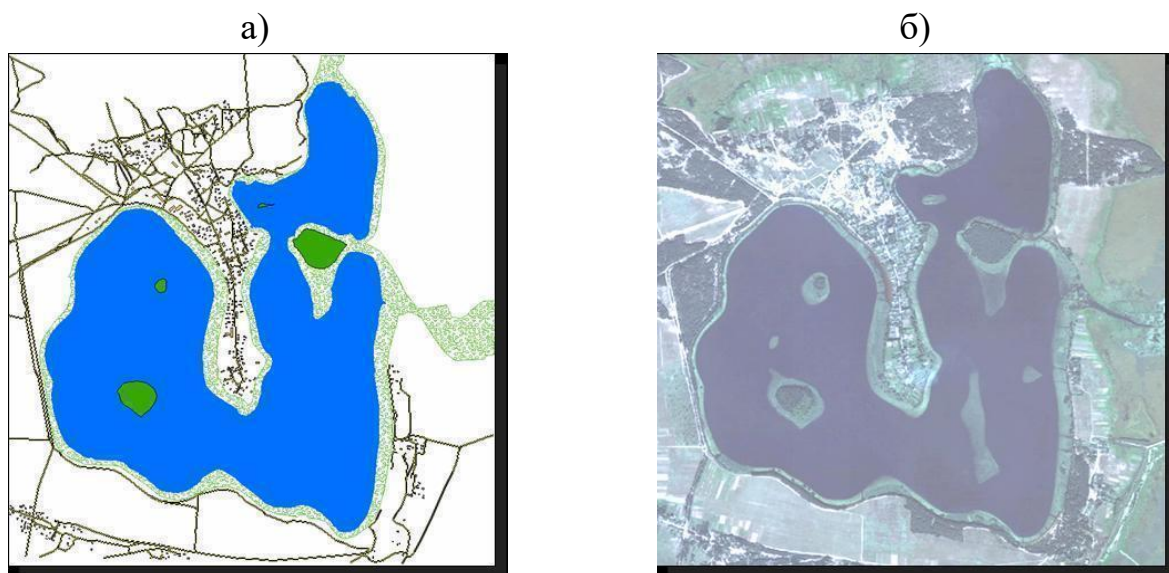


Рисунок 3.13. Цифрова карта границі озера Нобель та прилеглої території (а), створена з використанням даних ДЗЗ (б) надвисокого просторового розрізнення даних

Сезонні зміни морфометричних показників озер Західного Полісся можуть бути обумовлені змінами гідрогеологічного режиму, а також змінами форми берегової лінії, викликаними сезонним «цвітінням» води та розвитком водно-прибережної рослинності, які помилково класифікуються як «острови». На завершенні вегетації в осінній період, в залежності від трофності водойми, глибини і рельєфу дна, «острови» об'єднуються між собою або з материковою частиною, що призводить до зменшення кількості «островів» і, відповідно, зменшення їх загального периметру в порівнянні з даними дистанційного зондування у весняний період.

Для космічних зображень досліджуваних озер, отриманих у період інтенсивного «цвітіння» синьо-зелених водоростей, описаний підхід у більшості випадків застосувати не можна. Хоча гістограми є бімодальними, застосування моделі для ідентифікації класів «вода» і «суша» призводить до недостовірних результатів, оскільки області з найбільш інтенсивним «цвітінням», а також ділянки вегетуючої водно-прибережної рослинності помилково класифікуються як «острови». У зв'язку з цим для космічних знімків озер в період інтенсивного цвітіння синьо-зелених водоростей був застосований алгоритм вирішення задачі ідентифікації дзеркала водойм, який базується на використанні двовимірних гістограм. Характер типових двовимірних гістограм зональної яскравості для зазначеного випадку якісно відрізняється. Виділення двох кластерів, які приблизно відповідають класам «вода» і «суша», що розділяються похилою прямою, що свідчить про неможливість вирішення задачі за описаною моделлю. Тому якісний характер двовимірної гістограми можна використовувати як критерій застосовності останнього для класифікації «вода» – «суша». В іншому випадку варто застосувати лінійну подільну функцію – $d(I)$:

$$X(I) \in \begin{cases} \omega_1, \text{ якщо } d(I) < 0 \\ \omega_2, \text{ якщо } d(I) \geq 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

де $d(I) = \omega_0 + \omega_2 I_2 + \omega_3 I_3$ – зональні яскравості зображення в каналах зйомки 2 і 3;

$\omega_0, \omega_2, \omega_3$ – сталі коефіцієнти (компоненти вагового вектора), значення яких приблизно оцінюють за двовимірною гістограмою яскравості.

Уточнення значень компонентів вектора досягається за допомогою ітеративних процедур теорії розпізнавання образів, наприклад методами коригуючих приростів чи найменшої середньої квадратичної похибки.

Модель (3.14) реалізується використанням програми синтезу в одній координатній площині двовимірних гістограм різних навчальних вибірок,

виділених на зображенні у вигляді прямокутних фрагментів, які відповідають різним візуально ідентифікованим класам. За результатами аналізу гістограми на 2-х навчальних вибірках відповідних класів, простежується певна область перекриття кластерів, які відповідають класам «суша» і «цвітіння», хоча і при низькій повторюваності спільних значень зональної яскравості. Використання даного алгоритму не забезпечує повної достовірності ідентифікації класів, хоча у цьому випадку кількість помилково ідентифікованих елементів зображення значно нижча, ніж у випадку застосування алгоритму. Це вказує на недоцільність ідентифікації контурів озер дистанційними методами під час «цвітіння» води.

Для випадку відсутності «цвітіння» при визначенні контуру берегової лінії водойми часто не потрібна спеціальна обробка космічних знімків. Ця операція може бути виконана стандартними засобами інтегрованих ГІС. Наприклад, у ArcGIS це завдання вирішується стандартним методом створення полігональної теми на фоні візуалізованого космічного знімку. При візуалізації космічного знімку в деяких випадках потрібна зміна способу показу зображення, що забезпечує розтягування контрасту в зоні низьких значень яскравості, характерних для зображень водної поверхні. У ГІС цей результат досягається в режимі редагування теми, заснованої на залученому космічному знімку, наприклад шляхом застосування опції «лінійний пошук» у «карті кольорів». При використанні матеріалів багатозональної космічної зйомки, найефективнішим є застосування космічних знімків, отриманих у спектральних каналах ближнього ІЧ-діапазону. При картографуванні озерних екосистем з високою точністю, доцільне залучення панхроматичних знімків, які зазвичай мають вищу просторову роздільну здатність, ніж багатозональні. При ускладненнях автоматичної класифікації «вода – суша», обумовлених наявністю на поверхні водойм ділянок інтенсивного «цвітіння» чи іншими чинниками, доцільно використовувати додаткові текстурні дешифрувальні ознаки, а також космічні знімки високої просторової роздільної здатності, наприклад IKONOS, Quick Bird.

При ідентифікації класів «вода» і «суша» на основі правила, задіяного алгоритмом, отримані гістограми зональної яскравості суттєво відрізняються між собою, що вказує на різну якість води досліджуваних озер. Отримані характеристики акваторії водойм певною мірою зумовлені глибинними геофізичними умовами, оскільки, наприклад, озеро Світязь знаходиться над тектонічним розломом і живиться насамперед напірними водами. Озеро Нобель знаходиться в заплаві річкової системи «Прип'ять – Стохід», тому

режим водообміну озера тісно пов'язаний з поверхневим стоком атмосферних опадів та гідроекологічним режимом даних річок. Акваторії озер відрізняються між собою за гідрооптичними параметрами. Це порівняння свідчить про те, що низька прозорість озера Нобель, цілком імовірно, не антропогенного, а природного походження, обумовленого евтрофікаційними процесами.

Ідентифікація процесів евтрофікації методами обробки космічних знімків для моніторингу евтрофування водойм зазвичай базується на аналізі варіацій коефіцієнта дифузного відбивання світла поверхневими і підповерхневими шарами води при збільшенні в них концентрації фітопланктону. Збільшення фітопланктону спричиняє зростання дифузного відбивання світла внаслідок підвищення розсіювання світла назад на мікрowodоростях. З іншого боку, цей процес супроводжується збільшенням вмісту у фітопланктоні пігментів, які інтенсивно поглинають світло в специфічних інтервалах, що призводить до зменшення дифузного відбивання світла в певних зонах спектру.

Відомо, що залежність показника поглинання світла від концентрації фітопланктону виявляється тільки в певних спектральних зонах, специфічних для різних пігментів фітопланктону. Як зазначалося, найістотнішим є поглинання світла хлорофілом- α . Максимум поглинання цим пігментом припадає на спектральний інтервал 670–690 нм. Чутливою до цього ефекту є дистанційна зйомка з відносно високою спектральною роздільною здатністю. Водночас при космічній зйомці з широкими спектральними каналами ефект зменшення дифузного відбивання світла внаслідок поглинання пігментами фітопланктону може маскуватися збільшенням дифузного відбивання світла, обумовленого зворотним розсіюванням на часточках фітопланктону. При дистанційній зйомці в ближньому ІЧ-діапазоні вихідний світловий потік формується в дуже тонкому приповерхневому шарі води. Тому в разі завислих часток неорганічного походження, для яких характерне збільшення концентрації з глибиною, дифузне відбивання світла є дуже низьким. Водночас за інтенсивного «цвітіння» вод спостерігається висока концентрація фітопланктону в тонкому приповерхневому шарі води, що зумовлює високі коефіцієнти відбивання для ділянок акваторії, де спостерігається інтенсивне «цвітіння».

Описані особливості зонального розподілу дифузно відбитого світла на ділянках інтенсивного «цвітіння» води зумовлюють ефективність використання матеріалів багатозональної космічної зйомки для їх картографування. Алгоритм пропонованого методу аналізу космознімків з

використанням трьох спектральних каналів зйомки суттєво спрощує вирішення задач екологічного моніторингу водойм і є достатньо ефективним для виявлення аномалій на водному дзеркалі озер. Для цього достатньо використання двох спектральних каналів зйомки, один з яких припадає на ближній ІЧ-діапазон. У цьому разі ефективним є використання каналів зйомки 600–700 нм і 800–900 нм.

Застосовано комплексне використання методик відбору і обробки інформації шляхом застосування ГІС-технологій (тематичну класифікацію результатів дистанційного зондування в умовах обміну даними наземних завірок та незалежними ознаками об'єктів) з приведенням результатів до вигляду, зручного для інтерпретації. Врахування ефектів поверхневих проявів геофізичних умов є необхідним для розробок та обґрунтування природоохоронних рішень. Інформаційно-аналітичні технології забезпечують вирішення задач оцінки стану і динаміки змін озерних екосистем, виявлення аномалій, забруднень та наслідків антропогенного навантаження, підвищення ефективності використання космознімків.

Важливу роль в розумінні закономірностей функціонування водних екосистем відіграють водні об'єкти невеликих розмірів. Однак до недавнього часу супутникові дані з температури поверхні та каламутності води мали досить низьку просторову роздільність, що призводило до вдосконалення оптичних методів вимірювань *in situ* і дистанційних методів. Поява сканерів високого розрізнення надає широкі можливості для вивчення динаміки поверхневого розподілу суспензії та температури водних екосистем малих і середніх розмірів.

Коди обробки космічних знімків для моніторингу процесів евтрофування водойм здебільшого базуються на аналізі варіацій коефіцієнта дифузного відображення світла поверхневими і підповерхневими шарами води при збільшенні в них концентрації фітопланктону. Збільшення фітопланктону зумовлює зростання дифузного відображення світла через підвищення розсіювання світла назад на мікроводоростях. З іншого боку, цей процес супроводжується збільшенням вмісту у фітопланктоні пігментів, які інтенсивно поглинають світло в специфічних інтервалах, що призводить до зменшення дифузного відображення світла в певних зонах спектра.

Відомо, що залежність показника поглинання світла від концентрації фітопланктону виявляється тільки в певних спектральних зонах, специфічних для різних пігментів фітопланктону. Найбільшим є поглинання світла хлорофілом «а». Максимум поглинання цим пігментом припадає на

спектральний інтервал 670–690 нм. Чутливою до цього ефекту є дистанційна зйомка з відносно високою спектральною роздільною здатністю. Водночас при космічній зйомці з широкими спектральними каналами ефект зменшення дифузного відображення світла внаслідок поглинання пігментами фітопланктону може маскуватися збільшенням дифузного відображення світла, зумовленого зворотним розсіюванням на часточках фітопланктону. При дистанційній зйомці в ближньому ІЧ-діапазоні вихідний світловий потік формується в дуже тонкому приповерхневому шарі води. В разі завислих частинок неорганічного походження, для яких характерне збільшення концентрації з глибиною, дифузне відображення світла є дуже низьким. Водночас за інтенсивного «цвітіння» вод спостерігається висока концентрація фітопланктону в тонкому приповерхневому шарі води, що зумовлює високі коефіцієнти відображення для ділянок акваторії, де спостерігається це інтенсивне «цвітіння». Описані особливості зонального розподілу дифузного відображеного світла на ділянках інтенсивного «цвітіння» води зумовлюють ефективність використання матеріалів багатозональної космічної зйомки для їхнього картографування. Алгоритм пропонованого профільно-діаграмного методу аналізу космознімків з використанням трьох спектральних каналів зйомки суттєво спрощує вирішення завдань екологічного моніторингу водойм. Для цього достатнє використання двох спектральних каналів зйомки, один з яких припадає на ближній ІЧ-діапазон. У цьому разі ефективним є використання каналів зйомки 600–700 нм і 800–900 нм. Дослідження стану і динаміки змін водних екосистем профільно-діаграмним методом достатньо ефективно для виявлення аномалій на водному дзеркалі озер.

3.4. Технології космічного моніторингу батиметрії озерних акваторій

Технології космічного моніторингу водних об'єктів України повинні орієнтуватись на використання:

- поточних космічних знімків із супутників NOAA, TERRA, отриманих національними станціями в реальному вимірі часу або засобами Internet з відповідних серверів, зокрема Digital Globe;
- архівних і поточних космічних знімків LANDSAT, SPOT, IKONOS, QUICK BIRD.

Здійснення дистанційних досліджень передбачає отримання та зберігання космічної інформації в цифровій формі у вигляді архіву. Архів матеріалів ДЗЗ являє собою інформаційний базис створення карт про стан поверхневих вод

України. Формування архіву здійснюється за такими принципами: часовим; просторовим; за типами задач, що вирішуються; за видами зйомки.

Знімки кожного виду носіїв записуються на окремий диск (директорій) та ануються. Структура архіву вміщує сам знімок та картограму. Картограми складаються для наочного представлення наявності інформації та пошуку матеріалів космічної зйомки у архіві. Вони відображають карту з накладеними на неї прямокутниками – кадрами та стрічками зйомки – окремо для кожного виду носія. Просторове розрізнення космічних знімків, зібраних у фонді, обумовлено вимогами до детальності при рішенні задач вивчення поверхневих вод та картографування їх стану. Знімки з метеорологічних супутників на навколоземних орбітах з розрізненням 1 км (AVHRR/NOAA) задовольняють вимогам аналізу льодової обстановки досліджуваних водних об'єктів, розподілу снігового покриву і його сезонної динаміки у прибережній зоні, розподілу фітопланктону. Знімки кілометрового розрізнення з метеосупутників використовуються для оглядових досліджень поверхневих вод. Перехід до більш детальних знімків середнього розрізнення (250 м) з супутників TERRA дозволяє вирішувати такі ж задачі з більшою детальністю. Значна кількість задач дослідження поверхневих вод вирішується при використанні знімків розрізнення 10–100 м супутників Landsat, SPOT [9–11]. Це задачі дослідження господарської діяльності, насамперед забруднення природних вод, розповсюдження стічних вод. Задачі детального дослідження акваторій вирішуються при переході до розрізнення, кращого за 1 м, при зйомці зі супутника QuickBird.

Архів дистанційних досліджень вміщує знімки земної поверхні з різних типів космічних апаратів. Зйомки виконуються переважно в гамма-діапазоні, ближньому ультрафіолетовому (УФ), видимому, мікрохвильовому, ближньому інфрачервоному (ІЧ) і тепловому діапазонах.

Вимірюються такі фізичні параметри: радіаційна температура, енергетичні спектри відбивання, спектри коефіцієнтів спектральної яскравості (КСЯ), інтенсивність і спектри гамма-випромінювання, характеристики вологості, інтенсивності зворотного розсіювання у мікрохвильовому діапазоні та ін. Визначення енергетичних параметрів поля випромінювання у різноманітних діапазонах спектра електромагнітних коливань – основа розглянутих нижче інформаційних ознак для контролю екологічних умов природного середовища [17–18].

1. Гамма-випромінювання зазвичай супроводжує всі радіоактивні елементи та ізотопи природного і штучного походження. Воно

характеризується значним радіусом поширення в атмосфері й може бути зафіксовано як в інтегральному вигляді, так і за спектром енергії окремих гамма-квантів, які несуть інформацію про наявність і кількість конкретних радіоактивних ізотопів.

2. Ультрафіолетовий діапазон можна використовувати для визначення поширення аерозолів, малих газових домішок і озону в атмосфері, а також для оцінювання стану рослин і водойм. З цією метою можна реєструвати різноманітні типи випромінювань від об'єктів, включаючи флуоресценцію, спричинену лазерним опроміненням цих об'єктів в ультрафіолетовому діапазоні. Ці факти зумовлені взаємодією світла з земними утвореннями, забрудненими тими чи іншими токсикантами.

3. Видимий діапазон широко використовують для виконання як звичайних чорно-білих, кольорових, спектрозональних аерокосмічних фотозйомок, так і спеціальних мультиспектральних сканерних прецизійних зйомок. Механізм формування корисного для екологічних зйомок сигналу (наприклад, про стан рослинності) полягає в тому, що під дією різних токсикантів спостерігається зміна спектральних характеристик рослинності (за довжиною хвиль та інтенсивністю випромінювання). Спектрометричні дистанційні виміри цих параметрів несуть інформацію не тільки про несприятливий стан рослин (зараження їх нітратами, важкими металами, радіонуклідами), але й (через стан рослин) стан ґрунту і вод, у межах яких розвиваються згадані рослини. Крім того, аналіз спектрів відбиття поверхонь ґрунтів і гірських порід дає інформацію про вміст гумусу в ґрунтах, їх засоленість тощо. У видимому і ближньому ІЧ-діапазонах (за достатнього спектрального і просторового розрізнення) ідентифікуються пігменти у водах морів і внутрішніх водойм, склад атмосферних аерозолів, ступінь зернистості і забруднення снігового покриву.

4. Інфрачервоний (тепловий) діапазон несе інформацію про теплове поле природно-техногенних систем, виражену в особливостях амплітудної і частотно-амплітудної характеристик випромінювання в ІЧ-діапазоні. Механізм формування сигналів, корисних для екологічних цілей у цьому діапазоні, може ґрунтуватись на такій інформації:

- наявність теплових джерел на земній поверхні, в поверхневих шарах, у надрах (забруднення акваторій, наземні і підземні займання, прориви рідини або газу з підземних трубопроводів тощо);

- наявність так званої теплової інерції у поверхневих ґрунтах, заснованій на тому, що ці утворення з різною щільністю і зволоженістю мають

різну швидкість підігріву чи охолодження під дією добового циклу сонячної активності (визначення вологоємності приповерхневих шарів, глибинного теплового потоку, теплофізичних параметрів ґрунтів, наявності активних розломних зон та ін.);

– специфіка ІЧ-спектрів різноманітних порід, мінералів, атмосферних газів, хімічних сполук (у тому числі агрохімікатів), що дає змогу за цими спектрами ідентифікувати згадані утворення (картування речовинного складу об'єктів, які знаходяться на земній поверхні, токсикантів і корисних копалин, визначення концентрації основних і малих газових компонентів атмосфери).

5. Мікрохвильовий і метровий діапазони несуть інформацію про топографічні характеристики територій і акваторій (радарна зйомка), вологозапаси ґрунтів, засоленість водойм і ґрунтових розчинів, забруднення водних поверхонь нафтопродуктами, льодові обстановки, глибину залягання рівнів ґрунтових вод (пасивна і активна зйомки інтенсивності власного і відбитого радіовипромінювання природних і техногенних об'єктів).

Для вибору необхідних космічних знімків потрібно використовувати характеристики знімальної апаратури: спектральний діапазон та просторову роздільну здатність.

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика знімальної апаратури КА «Landsat-8», «WorldView-2», «WorldView-3»

Характеристики знімальної апаратури	Назва КА				
	Landsat-8			WorldView-2/WorldView-3	
	пан.	мультисп.	тепл.	пан.	мультисп.
Спектральний діапазон, мкм	0,50–0,68	0,43–0,45 (блакитний) 0,45–0,52 (синій) 0,53–0,60 (зелений) 0,63–0,68 (червоний) 0,85–0,89 (БІЧ) 1,36–1,39 (Cirrus) 1,56–1,66 (СІЧ-1) 2,10–2,30 (СІЧ-2)	10,40–12,50	0,45–0,8	0,4–0,45 (блакитний) 0,45–0,51 (синій) 0,51–0,58 (зелений) 0,58–0,62 (жовтий) 0,63–0,69 (червоний) 0,7–0,74 (край. черв.) 0,77–0,89 (БІЧ) 0,86–1,04 (БІЧ-2)
Просторова розд. здат., м	15	30	100	0,46/0,31	1,84/1,24
Радіометричне розрізнення, біт	16			11	
Ширина смуги зйомки, км	170x185			16,4/13,1 у надирі	

Для моніторингу водних об'єктів використовується апаратура з наявним блакитним «береговим» каналом (0,40–0,45 мкм), який на сьогоднішній день є на борту тільки трьох космічних апаратів (КА) – «Landsat-8», «WorldView-2» та «WorldView-3» (табл. 3.1, рис. 3.14–3.15).

Як зазначалось у попередніх розділах, блакитний діапазон чутливий до темно-синього і фіолетового кольорів. Синій колір важко розрізнити з космосу, так як він розсіюється на частках пилу і води в повітрі, а також на самих молекулах повітря. Цей діапазон також називається прибережним або аерозольним згідно з двома своїми основними видами застосування: у ньому видно мілководдя, найдрібніші частинки пилу і диму в повітрі. Ця особливість задіяна у спектральному діапазоні апаратури всіх трьох супутників.

При дослідженні водних об'єктів необхідні мінімальна хмарність і сприятливі умови навколишнього середовища (відсутній вітер), щоб мінімізувати каламутність для глибини і визначення типу дна водойми.

Просторова роздільна здатність – величина, що характеризує розмір найменших об'єктів, помітних на зображенні. На сьогодні найкращим вважається просторове розрізнення з КА «WorldView-3» (31 см), але для комерційного використання доступне тільки зображення з просторовим розрізненням 50 см. Це означає, що об'єкт розміром 50x50 см відобразиться на знімку у вигляді одного пікселя.

При обробці отриманих спектральних даних використовувалися два алгоритми батиметрії, які реалізовані в ПЗ «ENVI» – розрахунок відносної глибини і розрахунок абсолютної глибини (Relative Water Depth). Обидва алгоритми базуються на відношенні яскравостей в діапазонах видимого спектру випромінювання, як було описано вище.

Для визначення глибини використовували космічний знімок «Landsat-8» з просторовим розрізненням 30 м та «WorldView-2» – 1,84 м – в блакитному діапазоні (0,43–0,45 нм), який дозволяє визначати глибини до 20 м.

На першому етапі дослідження був випробуваний алгоритм визначення відносної глибини водойми. У процесі обробки при розрахунку відносної глибини був виключений етап атмосферної корекції, так як при цьому змінюються спектральні характеристики водної поверхні, що може призвести до незадовільних результатів визначення глибин. Для згладжування шумів на зображенні проведена корекція медіанним фільтром.

Визначення глибин проводилось за космічним знімком «Landsat-8» з використанням 1 каналу – 0.45–0.52 (блакитний спектральний діапазон), який найбільше підходить для дослідження водних об'єктів, адже сонячне світло

проникає в цьому спектральному діапазоні на більшу глибину. Графіки спектральної яскравості та абсорбції наведені на рис. 3.14–3.15.

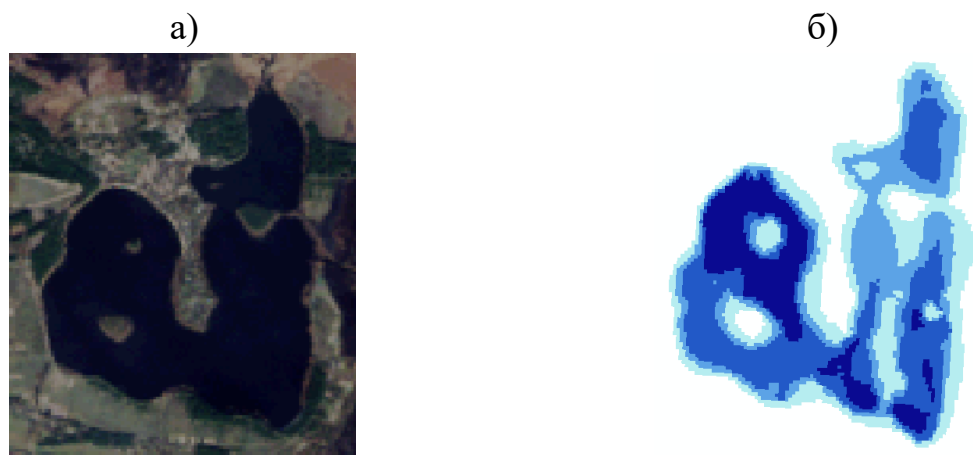


Рисунок 3.14. Карта відносних глибин оз. Нобель (б), розрахована за космічним знімком «Landsat-8» (а)

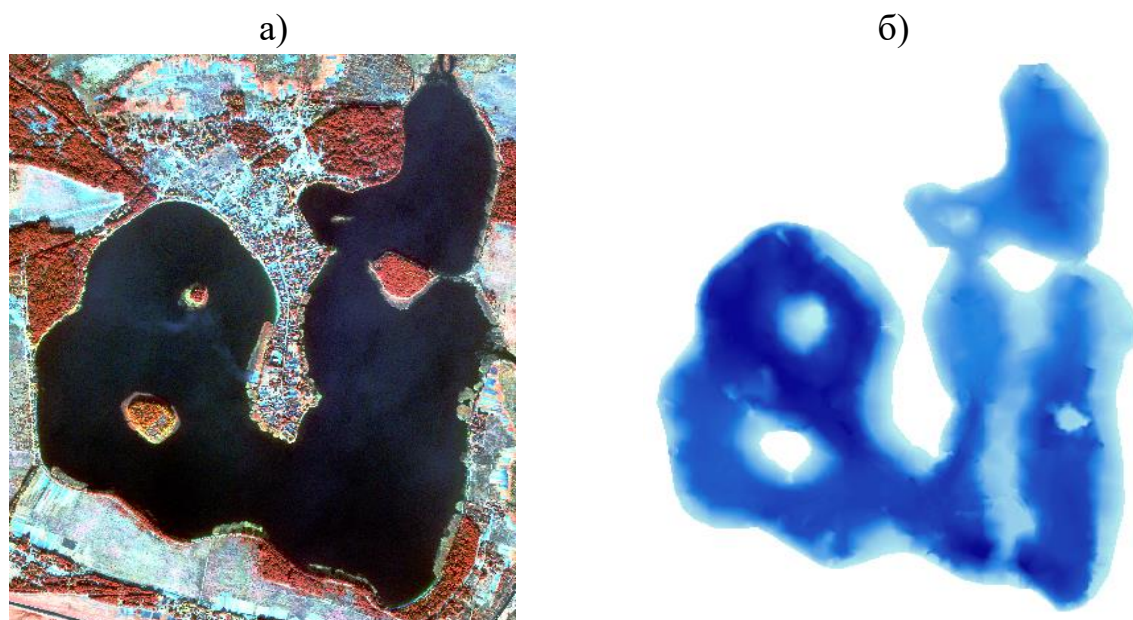


Рисунок 3.15. Карта відносних глибин оз. Нобель (б), розрахована за космічним знімком «WorldView-2» (а)

На рис. 3.14 та 3.15 представлені карта відносних глибин (шкала глибин набуває значень від 0 до 1) озера Нобель за космічними знімками «Landsat-8» та «WorldView-2». Як видно з наведених рисунків, при використанні космічного знімка з КА «WorldView-2» можливо отримати більш детальну карту глибин.

РОЗДІЛ 4

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ГІДРОЕКОСИСТЕМ

4.1. Оцінка та прогноз природно-ресурсного потенціалу гідроекосистем на основі геоінформаційних технологій

Інформаційна підтримка рішень з питань екологічної безпеки водного фонду на об'єктовому, регіональному і національному рівнях визначає обсяги фундаментальних і прикладних гідроакустичних досліджень, серед яких вивчення рельєфу дна, дослідження складу та властивостей донних ґрунтів і осадових порід, акустичної взаємодії водної товщі і дна, створення геолого-акустичних моделей окремих районів, а також створення ехолотних інформаційно-аналітичних технологій, під якими мається на увазі цілісний процес збору, обробки і доставки інформації споживачу. Складовими частинами гідроакустичних інформаційних технологій є: датчики вимірювання параметрів полів різної фізичної природи, телекомунікаційні системи доставки інформації, геоінформаційні системи обробки, архівації і візуалізації інформації.

Аналіз озерних комплексів є необхідним для виконання Національних та регіональних програм соціально-економічного розвитку, здійснення екологічної паспортизації водних об'єктів.

Антропогенне забруднення прісноводних екосистем обумовлюють наступні процеси:

- накопичення хімічних токсичних речовин у біоті;
- мікробіологічне забруднення;
- зниження біологічної продуктивності;
- прогресуюча евтрофікація й виникнення мутагенезу та канцерогенезу;
- порушення стійкості екосистем.

Основними чинниками забруднення територіальних вод України є: 1 – річковий стік; 2 – скиди промислових, побутових та каналізаційних стічних вод, а також поверхневого стоку; 3 – промислові скиди забруднюючих речовин; 4 – безпосереднє надходження таких речовин внаслідок господарської діяльності; 5 – атмосферні опади. Чинники 1 та 2 впливають на рівень забруднення поверхневих вод постійно, а 3–5 – епізодично, в залежності від характеру непрогнозованого збігу обставин природного й техногенного походжень. Проведені в останні роки комплексні дослідження водних об'єктів показали забруднення води й донних відкладів, що містять у

різних концентраціях практично всі забруднюючі речовини. Вони перевищують значення гранично допустимої концентрації (ГДК) і зустрічаються найчастіше в окремих районах великих міст та на територіях, де проводиться активна сільськогосподарська діяльність. До складу забруднювальних речовин входять мінеральні добрива, органічні речовини, нафтопродукти, промислові відходи. Додає свій внесок у загальне забруднення водних об'єктів і вторинне забруднення, обумовлене нагромадженням забруднювальних речовин у донних відкладах та в живих придонних організмах. На якість водних об'єктів впливають берегові джерела антропогенного забруднення, насамперед великі населені пункти на узбережжі, скиди промислових підприємств, муніципальні стічні води, злизові й дощові стоки з берегової прибережної водозбірної зони, інфраструктура судноплавства – порти, судноремонтні та суднобудівні заводи, якірні стоянки, днопоглиблювальні заходи. Значний вплив на стан лімнологічних об'єктів має поверхневий стік, який формується в періоди інтенсивного танення снігів і зливових опадів. Інформаційна підтримка прийняття рішень щодо планування природоохоронних заходів, мета яких – забезпечення національних і міжнародних вимог до рівня екологічної безпеки водних ресурсів України, базується на аналізі складових бази даних про геопросторові та технологічні параметри чинників збудження показників екологічного стану водних екосистем. Сучасним підґрунтям методології синтезу такої бази даних є технології ГІС і методи тематичного дешифрування матеріалів дистанційного зондування Землі. Технології ГІС дають змогу будувати картографічні зображення просторово розподілених об'єктів із заданими типами зв'язків щодо інформації, накопиченої в базах даних тими чи іншими методами моніторингу, або тієї, що характеризує техніко-економічні параметри цих об'єктів. Окрім того, вони дають змогу:

- забезпечити користувача широким спектром інструментів аналізу наявної інформації, відкривати невідомі раніше характеристики, зв'язки, закономірності, тенденції змін досліджуваних об'єктів і процесів, можливості динамічного аналізу і відображення даних, що дозволяє відстежувати часові зміни їх стану;

- візуалізувати географічну інформацію, в тому числі отриману методами ДЗЗ;

- розширити функціональні можливості під потреби конкретного користувача шляхом використання вмонтованих середовищ програмування і підключення зовнішніх програмних модулів.

Всі сучасні ГІС-платформи вміщують вичерпний набір функцій запитів. Останні дозволяють формувати множину різних об'єктів, у тому числі й

просторових, на базі заданих критеріїв, які, зі свого боку, також можуть формуватись в категоріях просторових відношень. Найпростіша форма просторових запитів полягає в отриманні характеристик об'єкта після вказівки його курсором на моніторі і навпаки, коли відображаються об'єкти за вказаними їхніми атрибутами. В розвинутих ГІС-платформах допускається відбирати об'єкти за заданою ознакою, наприклад віддалення від одного з них, сусідства, збіг за заданими критеріями тощо. Просторовий аналіз вміщує також функції розрахунку топографічних параметрів місцевості — відстані, площини, кути. Важливою особливістю ГІС-платформ є те, що вони дають змогу виводити графічну інформацію на принтер чи плоттер з використанням широкої кольорової гами, а текстову чи графічну — на принтери відповідних форматів. Ця інформація може також передаватись по Інтернету.

Виходячи з можливостей сучасних ГІС-платформ, в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України на базі ArcGIS 9.3 розроблено макет інтерактивної системи картографічної підтримки завдань управління екологічною безпекою водних об'єктів України, зокрема озерних екосистем, які забезпечують управління геопросторовими даними й дозволяють [1–3]:

- створювати картографічні зображення ділянок водних об'єктів із заданими типами зв'язків інформації з баз даних техніко-економічних параметрів джерел викидів у прибережну смугу водних об'єктів;
- відображати динаміку поточних станів рівня антропогенного навантаження на водні об'єкти і прогнозувати темпи і тенденції їх розповсюдження;
- візуалізувати характеристики стану окремих ділянок гідроекосистем у вигляді тематичних карт на топографічній основі повної лінійки масштабів.

Кожен розділ містить індивідуальний набір геопросторових тематичних шарів у векторній і растровій формах, а також атрибутивних даних у табличній або текстовій формах за кожним з включених до цих шарів об'єктів:

- абразія берегів;
- виніс річкового і поверхневого стоку з урбанізованих територій;
- евтрофікація водних об'єктів.

Для цього залучалися космічні знімки повної лінійки роздільності з широким діапазоном оперативності: від декількох десятків хвилин (знімки *NOAA*, геопортал <http://www.saa.noaa.gov>) до декількох десятків діб (знімки надвисокого розрізнення *QuickBird*, *Ikonos* і деякі інші). Частина з них знаходиться на порталі <http://www.spaceimaging.com>. Тематичним дешифруванням подібних знімків синтезуються картографічні моделі просторового розподілу забруднень водних об'єктів під впливом техногенних

або природних чинників. Теоретичне підґрунтя такого дешифрування базується на аналізі просторового розподілу зональних яскравостей водної поверхні, підданих впливу зважених речовин на глибину формування зворотного дифузного розсіювання. Інформаційну підтримку рішень з питань управління екологічною безпекою водних об'єктів можна ефективно забезпечити засобами інтегрованої інфраструктури супутникових геоінформаційних ресурсів. Склад і структура таких ресурсів визначені для середовища спеціалізованої ПС, макет якої розроблено в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Її топографічна основа — векторні карти територій дослідження масштабу 1:200 000. Створене в середовищі цього макету методичне і програмно-алгоритмічне супроводження синтезу тематичних геомodelей техногенного навантаження на лімнологічні об'єкти та просторове — розподілу показників забруднення і показників їх екологічного стану базуються на використанні інструментів ліцензійних програмних комплексів ArcGIS 9.3 і ERDAS.

4.2. Впровадження батиметрії для побудови 3D-моделей лімнологічних об'єктів

Батиметрія — вивчення рельєфу підводної частини водних басейнів. Одне з найважливіших завдань батиметрії — отримання карти глибин водойми, що було здійснено під час експедиційних досліджень низки озер на території України. Особливо важлива мілководна батиметрія, необхідна для досліджень морфології дна, моніторингу екологічного стану водних ресурсів, а головне — для розробки 3D-моделей, що дозволяють прогнозувати катастрофічні наслідки повеней і вживати заходів з їх запобігання. Для вирішення завдань батиметрії найбільш відомим є метод, який базується на використанні гідролокації. Сучасні підводні багатопроменеві гідролокатори забезпечують отримання великого обсягу високоточних даних, на підставі яких вирішуються основні завдання батиметрії. Однак висока вартість робіт, пов'язаних з використанням цього методу, не дозволяє застосовувати його при вирішенні завдань батиметрії малих водойм, особливо на регіональному рівні. Як альтернатива гідролокації, починаючи з 80-х років XX століття, поступово впроваджується технологія ДЗЗ. Доступність даних дистанційного зондування відкриває можливість реалізувати економічно вигідний спосіб вирішення завдань батиметрії. Метою проведених досліджень під час експедицій була оцінка можливості вирішення більш складного завдання — батиметрії малих водойм. Складність завдання визначається проблемою поширення світла в умовах сильної мутності вод озер.

Умови поширення світла в воді і в повітрі істотно відрізняються. Частина світлового потоку відбивається водною поверхнею, частина розсіюється розчиненими в ній речовинами і зваженими часточками, а частина – поглинаючись, перетворюється на теплову енергію, нагріваючи воду (рис. 4.1). Дальність видимості в воді залежить від освітленості, яка, зі свого боку, залежить від товщини шару води, ступеня відбиття світла поверхнею води і ступеня розсіювання світла у водному середовищі.

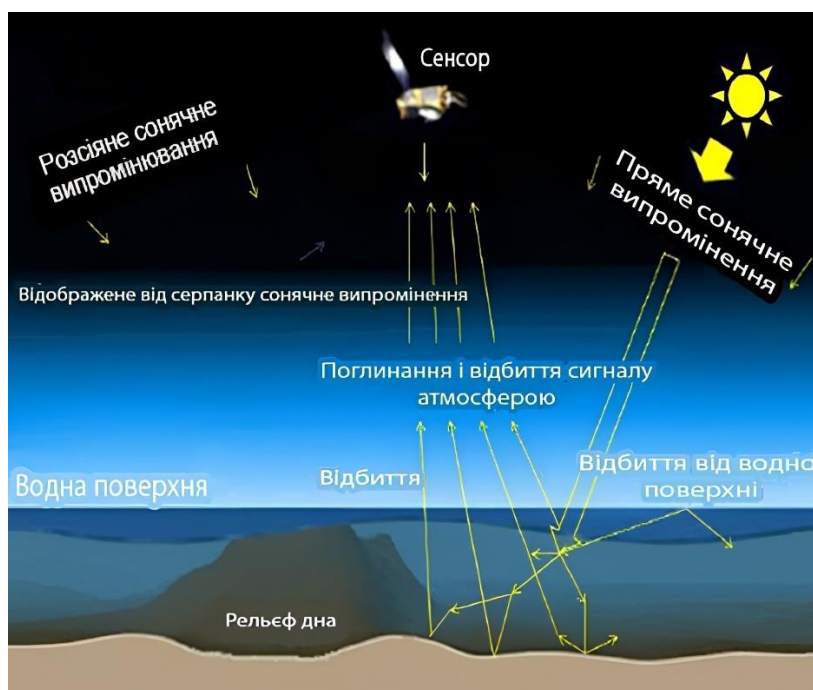


Рисунок 4.1. Схема поширення світла у водному середовищі

Для прозорих вод, коли практично відсутні суспензії і фітопланктон, червоні промені проникають на глибину до 10 м, жовті – до 20 м, і тільки синьо-блакитні промені досягають глибини 40 м (рис. 4.2).

Метод батиметрії заснований на спектральній залежності глибини проникнення світла у водному середовищі. Тому набір зображень, які отримані в різних спектральних діапазонах, забезпечує різноглибинні зрізи дна і водної товщі, що дозволяє використовувати результати мультиспектральної зйомки для батиметрії водойм.

Алгоритм оцінки глибини водойми заснований на спрощеній моделі коефіцієнта відображення водної поверхні, яка враховує основну частину сигналу, але нехтує ефектами розсіювання і внутрішнім відбиванням водної поверхні.

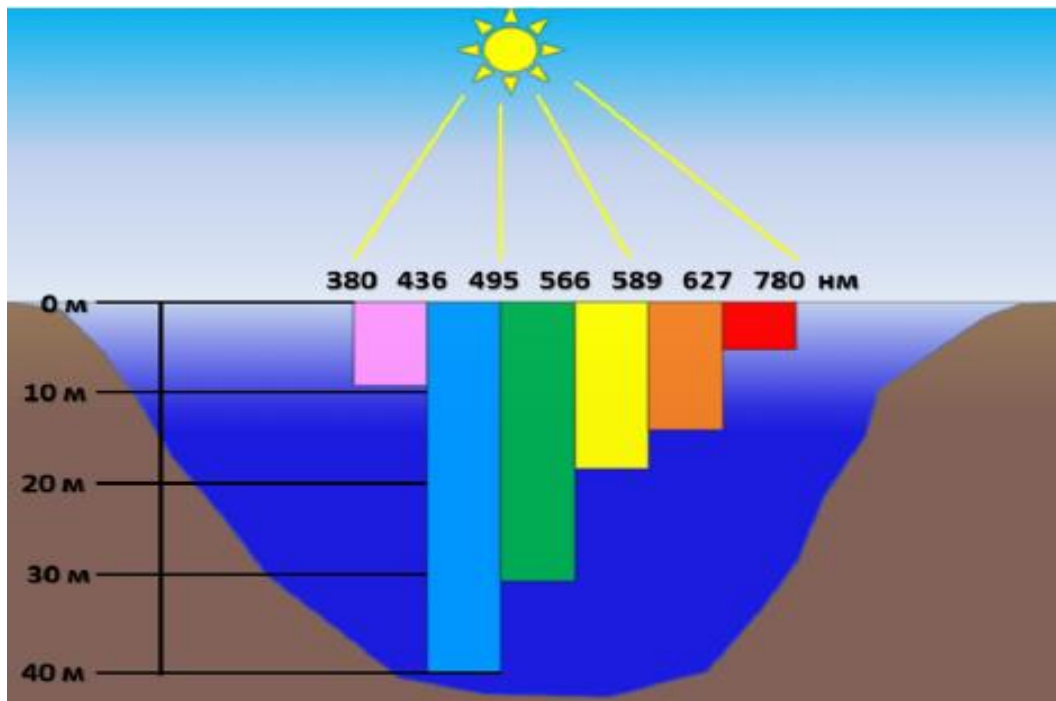


Рисунок 4.2. Глибина проникнення сонячних променів

Світло затухає по експоненті зі збільшенням глибини водного стовпа і виражається за законом Бера:

$$L(z) = L(0)\exp(-K \cdot z), \quad (4.1)$$

де L – інтенсивність світла на глибині;

$L(0)$ – інтенсивність світла на поверхні води;

K – коефіцієнт поглинання;

z – глибина.

Через те що аналіз глибини проникнення світла повинен враховувати експоненціальне зменшення яскравості з глибиною, то залежність коефіцієнта відбиття R_w від глибини водойми може бути записана у вигляді:

$$R_w = (A_d - R_\infty)\exp(-gz) + R_\infty, \quad (4.2)$$

де R_∞ – коефіцієнт відбивання водного стовпа;

A_d – альbedo дна;

z – глибина;

g – значення коефіцієнтів поглинання для низхідного і висхідного світлових потоків.

Рівняння (4.2) може бути перетворене для опису глибини водойми залежно від коефіцієнтів відбиття і альbedo дна:

$$z = g^{-1}[\ln(A_d - R_\infty) - \ln(R_w - R_\infty)]. \quad (4.3)$$

При наявності хоча би двох спектральних каналів значення альбедо для обчислення глибини можуть бути скориговані:

$$Z = a_0 + a_i X_i + a_j X_j, \quad (4.4)$$

в результаті чого отримано лінійне рішення:

$$X_i = \ln[R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)]. \quad (4.5)$$

Константи a_0 , a_i і a_j зазвичай визначають за допомогою множинної лінійної регресії. Для будь-якого методу визначення глибини за допомогою пасивних систем ДЗЗ наявність різних варіацій прозорості водного середовища і її спектрального поглинання викликають додаткові складнощі. У рівняннях (4.4) і (4.5) є п'ять змінних, які повинні бути визначені емпірично: $R_w(\lambda_i)$, $R_\infty(\lambda_j)$, a_0 , a_i і a_j . До проблем реалізації даного методу слід віднести той факт, що у випадку негативної різниці ($R_w - R_\infty$) параметр X не може бути визначений. Існує альтернативне рішення, яке вимагає меншої кількості параметрів і стійке до зміни типів дна водойми. В основі цього методу лежить той факт, що всі діапазони електромагнітного спектру випромінювання мають різний ступінь поглинання у водному середовищі. Відповідно, в кожному спектральному каналі від одного елемента поверхні дна фіксується різний рівень сигналу. Природно, що при зміні глибини зміниться і це співвідношення. Оскільки зі збільшенням глибини коефіцієнт відображення обох каналів зменшується, то значення натурального логарифма коефіцієнта поглинання $\ln(R_w)$ спектрального каналу з більш високим поглинанням (зелений канал) зменшується швидше значення натурального логарифма коефіцієнта поглинання $\ln(R_w)$ спектрального каналу з більш низьким (синій канал) поглинанням. Відповідно, співвідношення синього каналу і зеленого зміниться на користь першого. Зміна альбедо дна діє на обидві смуги однаково, проте зміни в глибинах сильніше впливають на спектральний канал з більш високим поглинанням. Таким чином, значення відношення сигналів у відповідних спектральних каналах визначає глибину водойми незалежно від альбедо дна і потребує тільки приведення до фактичної глибини, а саме:

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0, \quad (4.6)$$

де Z – фактична глибина (в метрах);

m_1 – константа, яка визначає коефіцієнт масштабування глибини;

n – фіксована константа для всіх областей;

m_0 – зміщення для глибини 0 м ($Z = 0$).

Постійне значення n у моделі (4.5) необхідне для гарантії того, що логарифм буде позитивний при будь-якій умові і відношення дозволить розрахувати лінійну залежність глибин. Для батиметричних досліджень використовується сучасний гідроакустичний метод, який полягає в ехолотному зондуванні з синхронною GPS-прив'язкою ехолотних профілів. Для оцінки точності моделі, яка була побудована з використанням даних ДЗЗ, були організовані польові роботи з замірювання глибин низки озер, які описані нижче. На основі даних, отриманих з допомогою ехолота, були побудовані карта глибин і тривимірні моделі озер.

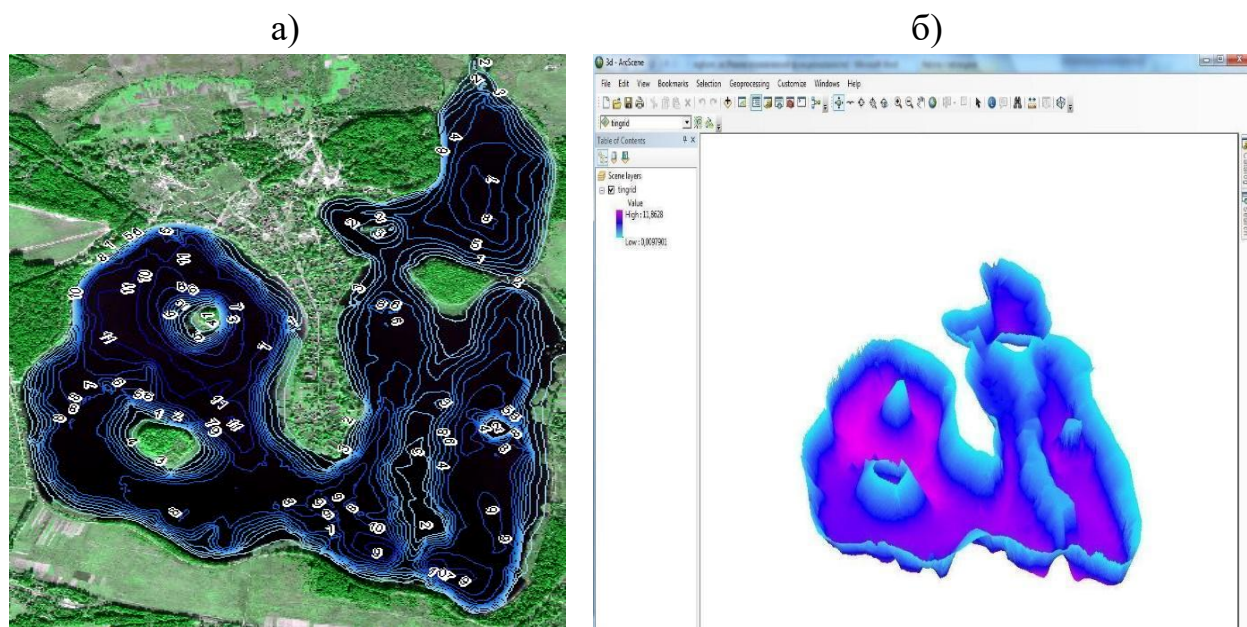


Рисунок 4.3. Карта глибин (а) та 3D-модель оз. Нобель (б)

За результатами проведення зйомки синтезуються картографічні моделі дна озер, створюються батиметричні схеми і гіпсометричні моделі. На рисунку 4.3 представлено карту глибин на прикладі озера Нобель.

4.3. Формування паспорту лімнологічного об'єкту

Сьогодні постійно зростаючі темпи проведення досліджень та моніторингу лімнологічних систем України призводять до утворення величезних обсягів високопродуктивних даних, в тому числі отриманих в результаті численних аналізів компонентів довкілля, обсяги і різноманітність яких є безпрецедентними в історії людства. Управління масивами такої інформації вимагає не тільки й не стільки агрегації та інтеграції даних, скільки засобів їх обробки (структуризації або класифікації) з метою подальшого їх використання в аналізі, вилученні та генерації знань.

Хоча результати моніторингу продукують багато типів даних, це перешкоджає подальшому їх аналізу, оскільки записи часто є неповними, неправильними, невідомого походження, недостатньо деталізованими або мають несумісні формати, що зумовлено технічними (або навіть технологічними) аспектами документації, а не особливостями лімнологічного об'єкту з екологічної точки зору. Наприклад, інформація про забруднення, антропогенний вплив, евтрофікацію та дані, отримані з мобільних сенсорів моніторингу стану водного об'єкту, є такими, що важко збираються (через несистематичність отримання) та інтегруються (через погану структурованість, розбіжності у форматах, стандартах та технологіях створення).

Таким чином, сучасний рівень інтерпретації інформації про лімнологічні об'єкти часто є недостатнім для виявлення подібності та класифікації у статистично корисні групи для досліджень їх стану за спектром ознак, які можуть не бути присутніми у всіх об'єктів, але допоможуть зрозуміти, як використовувати ці дані для оздоровлення водойм і визначення стратегії створення безпечних умов життя людини та відновлення природного середовища.

Дані без інтерпретації є фактами без розуміння. З точки зору екології, для дослідження певної області знань необхідним є отримання повної та достовірної інформації щодо її об'єктів та зв'язків між ними. В якості засобу концептуального представлення області знань розглядається класифікація, якщо мова йде про віднесення цілісних об'єктів до певних класів ієрархії, або структуризація, якщо здійснюється поділ угруповань об'єктів на підгрупи (субструктури, кластери тощо) за певними ознаками для наступної агрегації.

Результатом класифікації або структуризації знань є концептуальний опис області дослідження, що містить обчислювальні специфікації різних ступенів складності – від простої термінології до онтологій.

Знанневості інформації та змістовності знанням надає їх систематизація. Систематизація інформації передбачає її обробку з метою приведення до певного виду для забезпечення можливості інтерпретації. Обробка інформації має на меті її впорядкування, надання певної завершеної форми для наповнення змістом і значенням.

Систематизація інформації людиною проводиться за допомогою органів сприйняття і логіки. Для логічного способу характерним є систематичне і послідовне, засноване на логічних операціях, перетворення інформації, тому його ще називають науковим способом.

Систематизація інформації включає:

- пошук і накопичення інформації;
- класифікацію та індексування інформації;

- організацію доступу до інформації;
- подання інформації;
- обробку запитів на пошук інформації.

Зростаюче використання аналізаторів навколишнього середовища для проведення біомоніторингу, а також досягнення цифрової візуалізації свідчать про зростання обсягу даних різноманітних досліджень. В епоху Big Data управління та інтеграція великих наборів даних забезпечують величезні можливості для формування нових знань. Онтології, які представляють знання про предметну область у вигляді понять, їх класів та взаємозв'язків між ними, є універсальним інструментом для подолання бар'єрів при інтеграції даних та знань із різнорідних джерел інформації, тим самим полегшуючи пошук нових знань. Онтології можуть допомогти організувати і проаналізувати великі обсяги даних, які є занадто великими для управління окремим фахівцем або експертом, дозволяють не лише структурувати чи класифікувати дані моніторингу, а й інтегрувати інформацію шляхом формалізації стандартної термінології.

Проте на практиці необхідно не лише створити та об'єднати декілька онтологій, щоб повністю реалізувати змістовну інтеграцію та аналіз даних у сфері охорони навколишнього середовища, а й розробити рішення, які можуть автоматизувати цей процес або мінімізувати зусилля людини, забезпечуючи семантичну взаємодію.

Одним з таких рішень є застосування когнітивних ІТ-технологій, що забезпечують процес семантичного аналізу інформаційних ресурсів незалежно від формату їх створення та дозволяють розглядати весь зміст інформаційних ресурсів як єдиний наратив [1–3]. При цьому когнітивні сервіси реалізують структурування і класифікацію інформації, синтезують необхідні документи на основі семантичного аналізу, виявляють властивості інформаційних процесів і забезпечують вибір та прийняття оптимальних рішень для прогнозування їх розвитку. Фактично когнітивні ІТ-технології спроможні реалізувати повномасштабну інтеграцію інформаційних ресурсів, незалежно від їх тематики, формату, стандартів та технологій створення, утворюючи єдиний інформаційний простір. Такий підхід дозволяє забезпечити доступ до відповідної інформації кожному фахівцю згідно з його функціональними завданнями та посадовими обов'язками, а також створити технологічні умови налагодження ефективної взаємодії між різними природоохоронними, науково-дослідними та освітніми установами.

Для модернізації онтологічного паспорту озера Нобель, створеного 2013 року, була використана когнітивна інформаційна технологія (KIT) «ПОЛЕДР» [4], призначена для підтримки процесів семантико-

лінгвістичного аналізу великих обсягів просторово-розподіленої неструктурованої інформації (Big Data), їх структуризації, встановлення контекстних зв'язків між документами, що обробляються, прогнозування та підтримки процесів раціонального вибору з подальшим формуванням інформаційно-аналітичних веб-орієнтованих рішень.

КІТ «ПОЛІЕДР» забезпечує:

- семантико-лінгвістичний аналіз мережевих інформаційних ресурсів, які мають значну кількість міждисциплінарних зв'язків і створені на основі використання різних інформаційних технологій і стандартів;
- трансдисциплінарний аналіз та інтеграцію з іншими мережевими інформаційними системами та веб-орієнтованими додатками [5];
- таксономізацію наративів довільних документів та відображення їх структури, включаючи міжконтекстні зв'язки;
- створення онтологічних інтерактивних документів [6, 7];
- виявлення латентної інформації в аналізованих інформаційних ресурсах;
- підтримка форматів і протоколів Семантичної Павутини;
- опрацювання великих даних (Big Data);
- синхронізацію природоохоронної документації, отриманої з різних джерел (лабораторій, моніторингових центрів, наукових установ тощо);
- забезпечення доступу користувачів до інформації з метою загальної обізнаності про екологічний стан середовища проживання;
- інтерактивну інтероперабельну взаємодію з природоохоронною документацією (результати досліджень, моніторингу, екологічні паспорти тощо) незалежно від формату і технології створення.

Порядок розробки і форма паспорта затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у галузі охорони навколишнього середовища. Відповідно до 51 статті Водного кодексу України, Міністерством екології та природних ресурсів України видано наказ №99 від 18.03.2013 «Про затвердження Порядку розроблення паспорта водного об'єкта», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 18.05.2013 за №775/23307 зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів №474 від 14.07.2021. Порядок спрямований на встановлення технічних параметрів водного об'єкта, гідрологічних характеристик річки (водотоку), регламентацію експлуатаційної діяльності на водосховищах, ставках та озерах (далі – водний об'єкт) для забезпечення сталого використання (включаючи кількісне і якісне

відновлення) всіх ресурсів, пов'язаних з існуванням водойми, надійності функціонування споруд і для підвищення ефективності їх використання [8].

Згідно з цим порядком, Паспорт водного об'єкта має складатися з:

1) короткої пояснювальної записки, де вказується назва водного об'єкта, його місцезнаходження, призначення, тип тощо;

2) характеристики водного об'єкта: довжина, максимальна і середня ширина, найбільша і середня глибина, площа водного дзеркала, відсоток заростання водного об'єкта, обсяг, основні гідрохімічні показники якості води: головні іони, біогенні речовини, мікроелементи, органічні речовини, специфічні забруднюючі речовини тощо;

3) графічних матеріалів: план водного об'єкта, поперечний переріз в характерних місцях тощо.

Спираючись на Порядок розроблення паспорту водного об'єкта та попередньо розроблену структуру паспорту [8, 9], була запропонована така модернізована структурна схема онтології паспорту озера (рис. 4.4):

Пояснювальна записка:

- Назва водного об'єкта;
- Місцезнаходження;
- Розмір і характер берегової лінії (піднесені або низовинні, пологі або круті, кам'янисті або піщані береги).

Характеристики водного об'єкта:

- Характеристика ґрунту на мілинах, потужність мулових відкладень;
- Температура води на поверхні і на різних глибинах у різні сезони;
- Колір, прозорість та інші характеристики води;
- Карта глибин;
- Дані про пересихання, перемерзання, найбільші і найменші рівні води;
- Характер водної та прибережної рослинності;
- Флора та фауна;
- Наявність приток, витоків, прилеглих боліт, джерел (кількість води, що надходить з приток за добу, і її витрата в річках і струмках, що витікають з озера);
- Наявність насосних станцій, риборозплідних та інших господарських споруд;
- Джерела забруднення і заходи захисту озера.

Графічні матеріали:

- Карта-схема озера.

Вихідними даними для відображення паспорту озера у вигляді таксономічної структури або графу є таблиця, в якій описуються розділи паспорту (рис. 4.5).

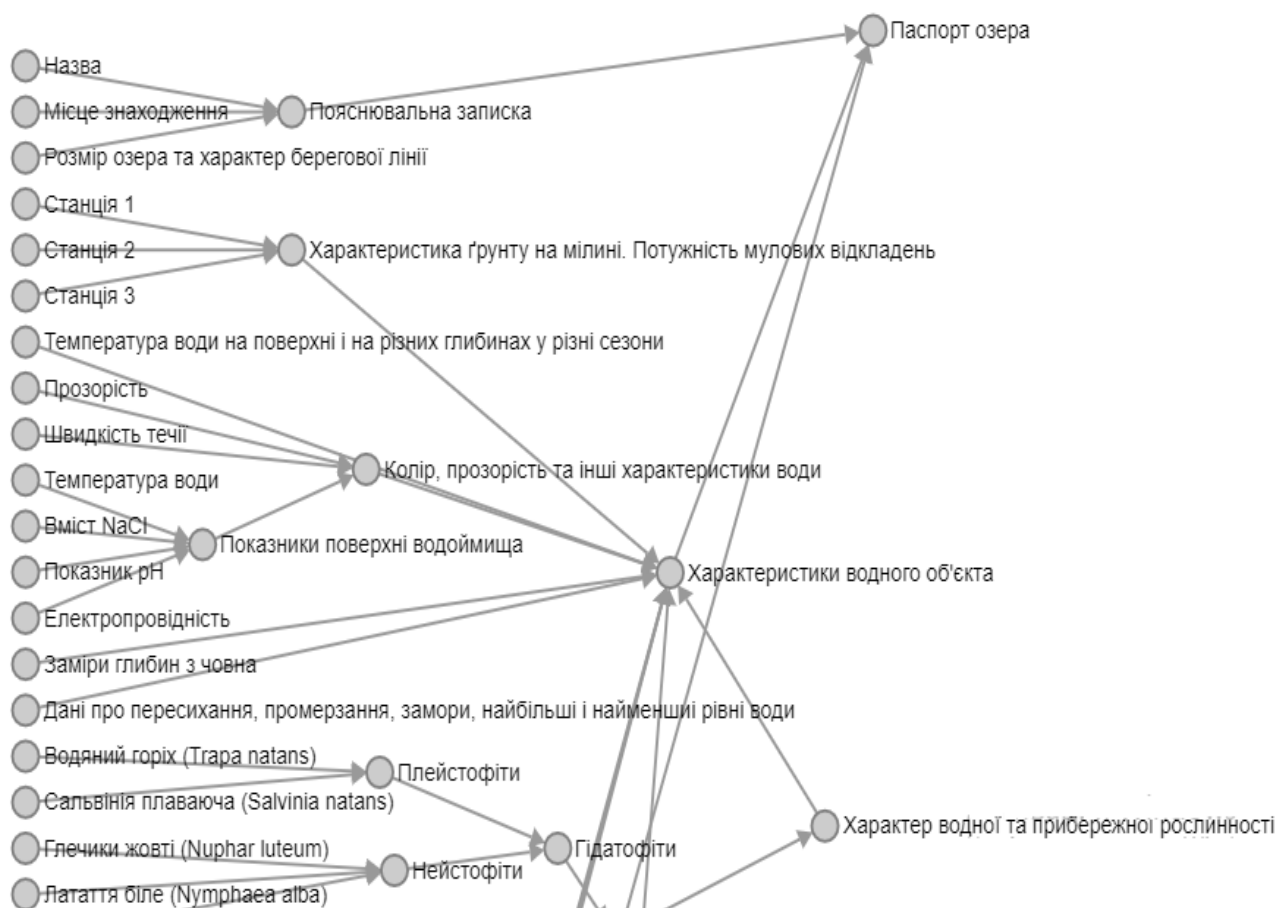


Рисунок 4.4. Фрагмент таксономічної структури онтології паспорту озера

	A	B	C	D	E	F	
1	Паспорт озера	Розділ	Пояснювальна записка	Характеристики водного об'єкта	Графічні матеріали		
2	Пояснювальна записка	Підрозділ	Назва	Місце знаходження	Розмір озера та характер берегової лінії		
3	Характеристики водного об'єкта	Підрозділ	Характеристика ґрунту на міліні. Потужність мулових відкладень	Температура води на поверхні і на різних глибинах у різні сезони	Колір, прозорість та інші характеристики води	Заміри глибин з човна	Дані про промерзання, замори, найбільші і найменші рівні води
4	Колір, прозорість та інші характеристики води	Підрозділ	Прозорість	Швидкість течії	Показники поверхні водоймища		
5	Показники поверхні водоймища	Підрозділ	Температура води	Вміст NaCl	Показник pH	Електропровідність	
6	Характеристика ґрунту на міліні. Потужність мулових відкладень	Підрозділ	Станція 1	Станція 2	Станція 3		
7	Характер водної та прибережної рослинності	Підрозділ	Класифікація водної рослинності озера Нобель				
8	Класифікація водної рослинності озера Нобель	Класифікація водної рослинності озера	Гідатофіти	Гелофіти			
9	Гелофіти	Гелофіти	Стрілолист звичайний (Sagittaria sagittifolia)	Куга озерна (Scirpus lacustris)	Рогоз вузьколистий (Typha angustifolia)	Очерет звичайний (Phragmites communis)	

Рисунок 4.5. Фрагмент вихідної таблиці формування таксономічної структури паспорту озера

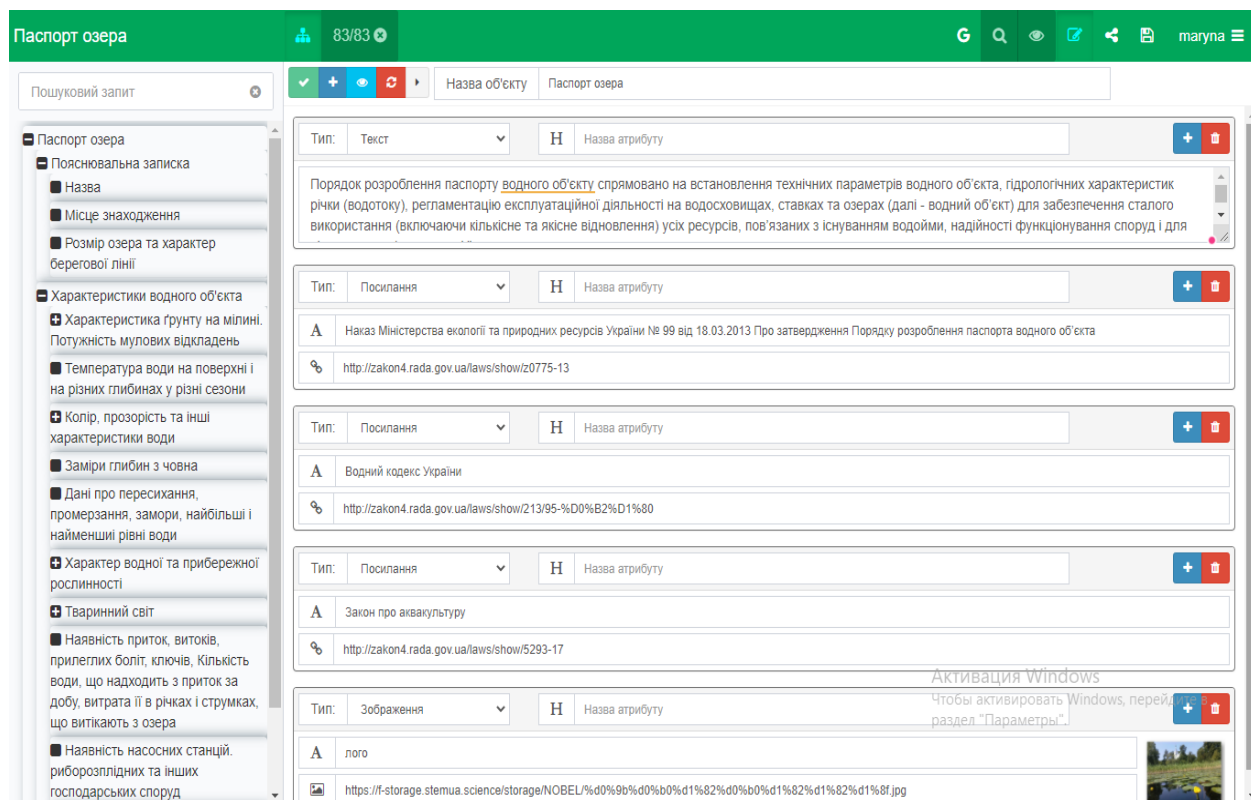


Рисунок 4.7. Фрагмент веб-форми в середовищі модуля Graph Editor KIT «ПОЛЕДР»

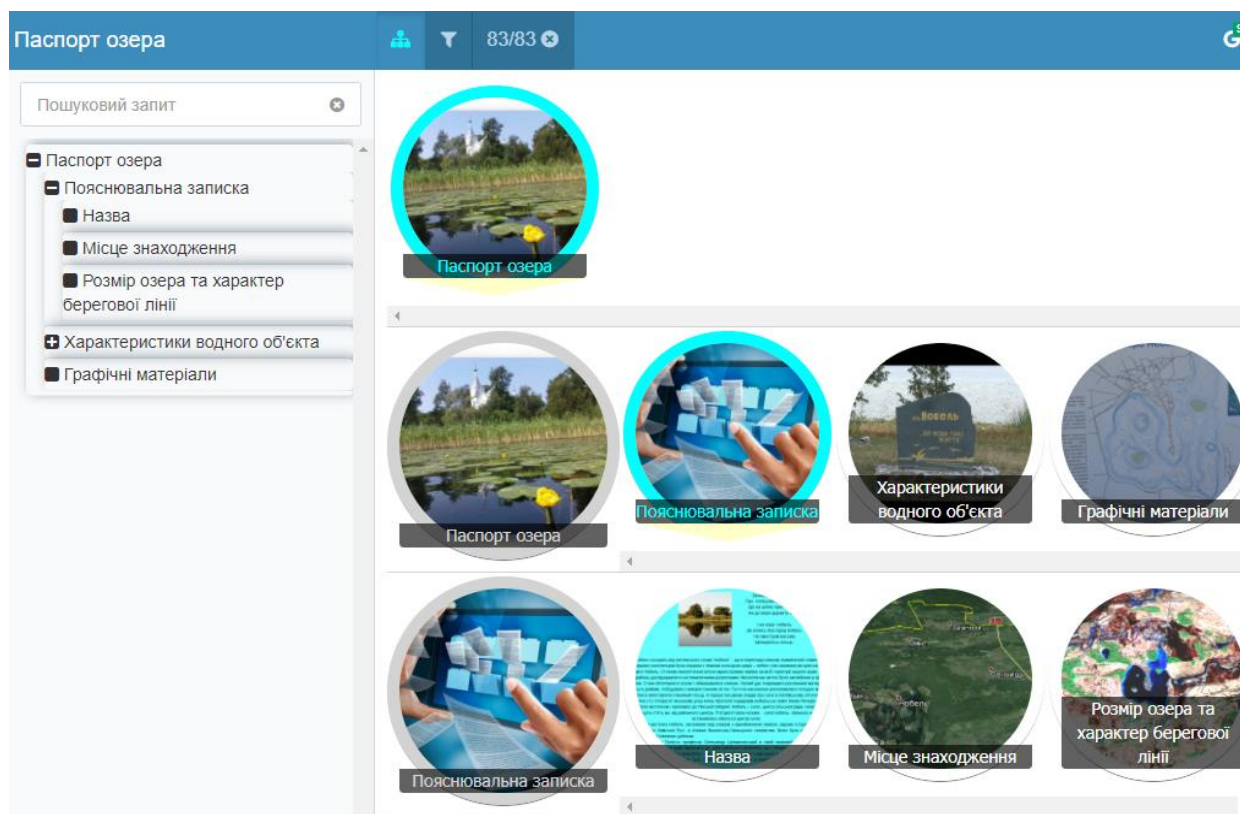


Рисунок 4.8. Головна сторінка інтерфейсу комп'ютерної онтології паспорту озера Нобель

В лівому куті верхнього меню інтерфейсу розташовано назву онтології – «Паспорт озера» (рис. 4.9).



Рисунок 4.9. Назва онтології в головному меню онтологічного інтерфейсу

У верхньому меню онтологічного інтерфейсу розташовано панель управління функціоналом онтології паспорту озера з набором мініатюр елементів керування. Мініатюри на панелі візуально виокремлено у декілька груп (рис. 4.10).

До першої групи належать назва та інструменти керування об'єктами онтології.



Рисунок 4.10. Меню керування об'єктами

Мініатюра «Ієрархічний фільтр»  активує режим відображення або приховування переліку об'єктів онтології за ієрархією, заданою в онтографі (рис. 4.11).

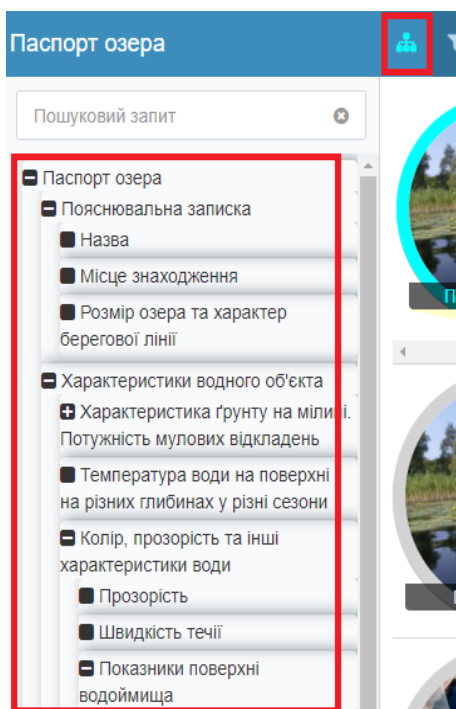


Рисунок 4.11. «Ієрархічний фільтр»

Мініатюра «Фільтр атрибутів»  активує режим відображення або приховування переліку атрибутів (метаданих), за якими можна відфільтрувати об'єкти онтології.

Мініатюра **83/83** є індикатором кількості об'єктів, що належать до обраного класу, виведеного на екран, і загальної кількості об'єктів онтології («83»). Активація даної мініатюри відмінює дію фільтрів і повертає початковий режим відображення об'єктів онтології.

Друга група мініатюр складається з таких підгруп:

1. Підгрупа інтегрованих пошукових систем .

Мініатюра «Зовнішній пошук»  активує перехід до зовнішніх джерел інформації за пошуковим запитом з об'єкта онтології. Для формування пошукового запиту необхідно виділити слово або словосполучення, утримуючи натиснутою ліву клавішу миші. При пошуку на тлі мініатюри «Зовнішній пошук» відображається кількість символів пошукового запиту (рис. 4.12).

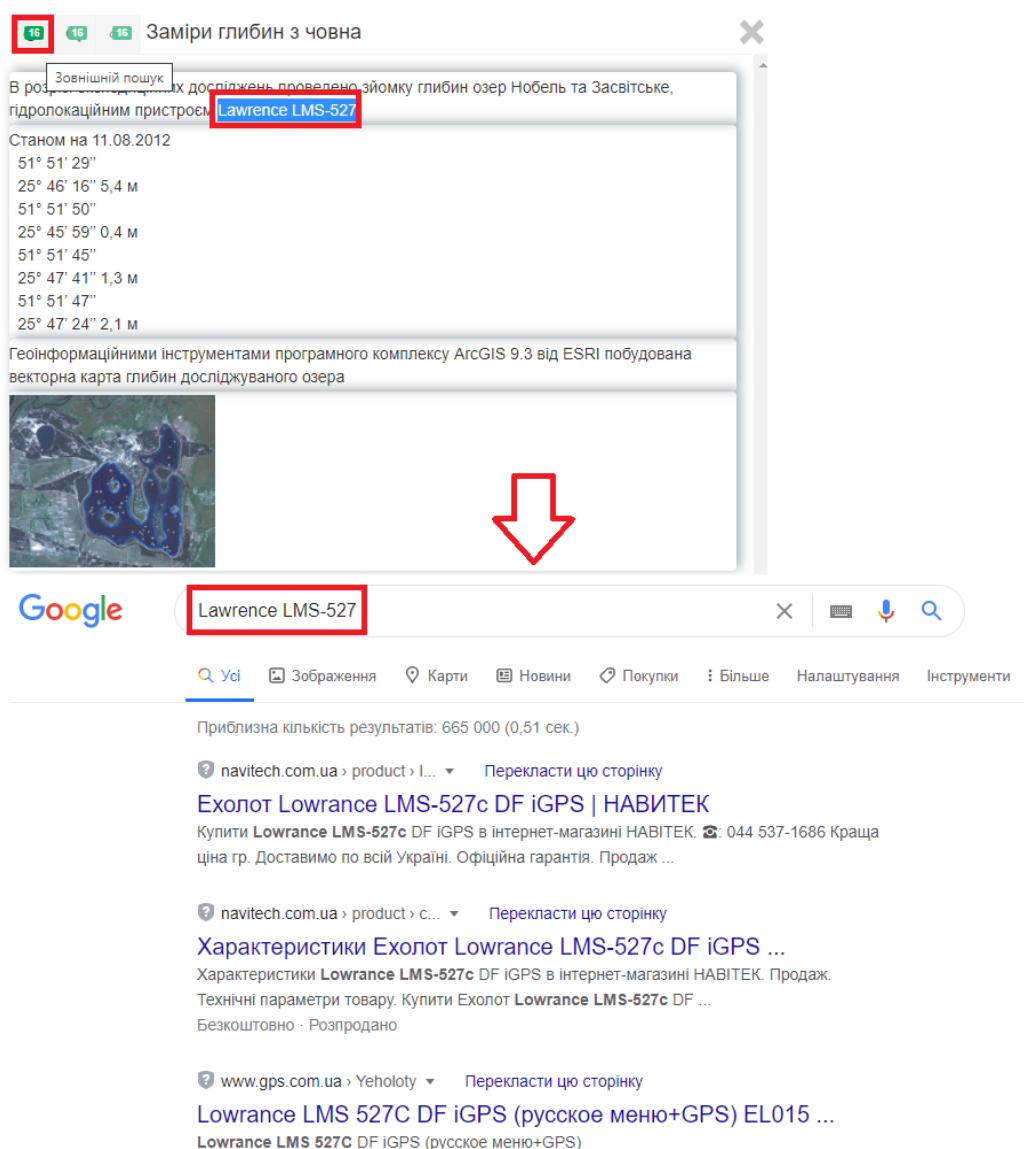


Рисунок 4.12. «Зовнішній пошук»: формування пошукового запиту та результати пошуку

Мініатюра «Внутрішній пошук»  активує перехід до семантично пов'язаних внутрішніх джерел інформації (інтегровані бази даних, електронні бібліотеки, інші онтології тощо) за пошуковим запитом з об'єкта онтології.

Мініатюра «Пошукова онтологія»  активує відображення семантично пов'язаних внутрішніх джерел інформації (інтегровані бази даних, електронні бібліотеки, інші онтології тощо) за пошуковим запитом з об'єкта онтології у вигляді ієрархії.

Для формування пошукового запиту необхідно виділити слово або словосполучення, утримуючи натиснутою ліву клавішу миші. При пошуку на тлі мініатюри «Внутрішній пошук» відображається кількість символів пошукового запиту.

2. Мініатюри режимів перегляду  дозволяють обрати спосіб відображення об'єктів онтології на дисплеї.

Об'єктне відображення  виводить об'єкти у вигляді ієрархічних рівнів, заданих в онтографі. На верхньому рівні користувачем обирається об'єкт онтології паспорту озера, і на основі семантичних відношень пов'язаних з ним об'єктів (батьківських, дочірніх або суміжних – залежно від налаштувань) формується наступний рівень (рис. 4.13).

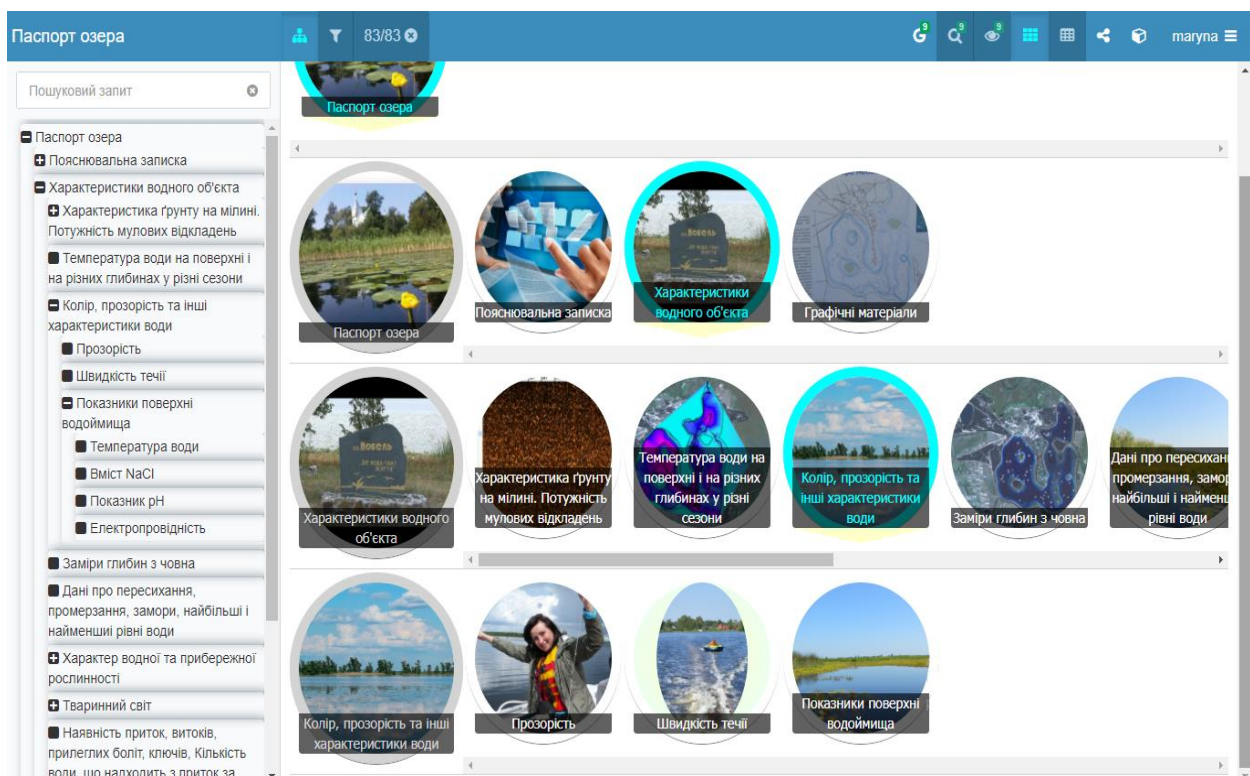


Рисунок 4.13. Об'єктне відображення об'єктів онтології паспорту озера Нобель

Якщо поточний об'єкт має пов'язані (відповідно до налаштувань за замовчуванням) об'єкти, при наведенні курсору нижня частина об'єкта перетвориться на стрілку та при натисканні лівої кнопки миші на такому об'єкті утворюється додатковий рівень нижче поточного із пов'язаних з ним елементів.

Кожна вершина містить два керуючих елементи – «Деталі» , що відображає інформацію про обраний об'єкт, та «Фільтрувати оточення» , що має функції, аналогічні до функцій «Ієрархічного фільтра».

В інформаційній картці об'єкта онтології, що відкривається керуючим елементом «Деталі», також є можливість пошуку в зовнішніх та внутрішніх джерелах інформації (кнопки «Зовнішній пошук», «Внутрішній пошук», «Дослідження джерел» у верхньому лівому куті екрана) (рис. 4.14).

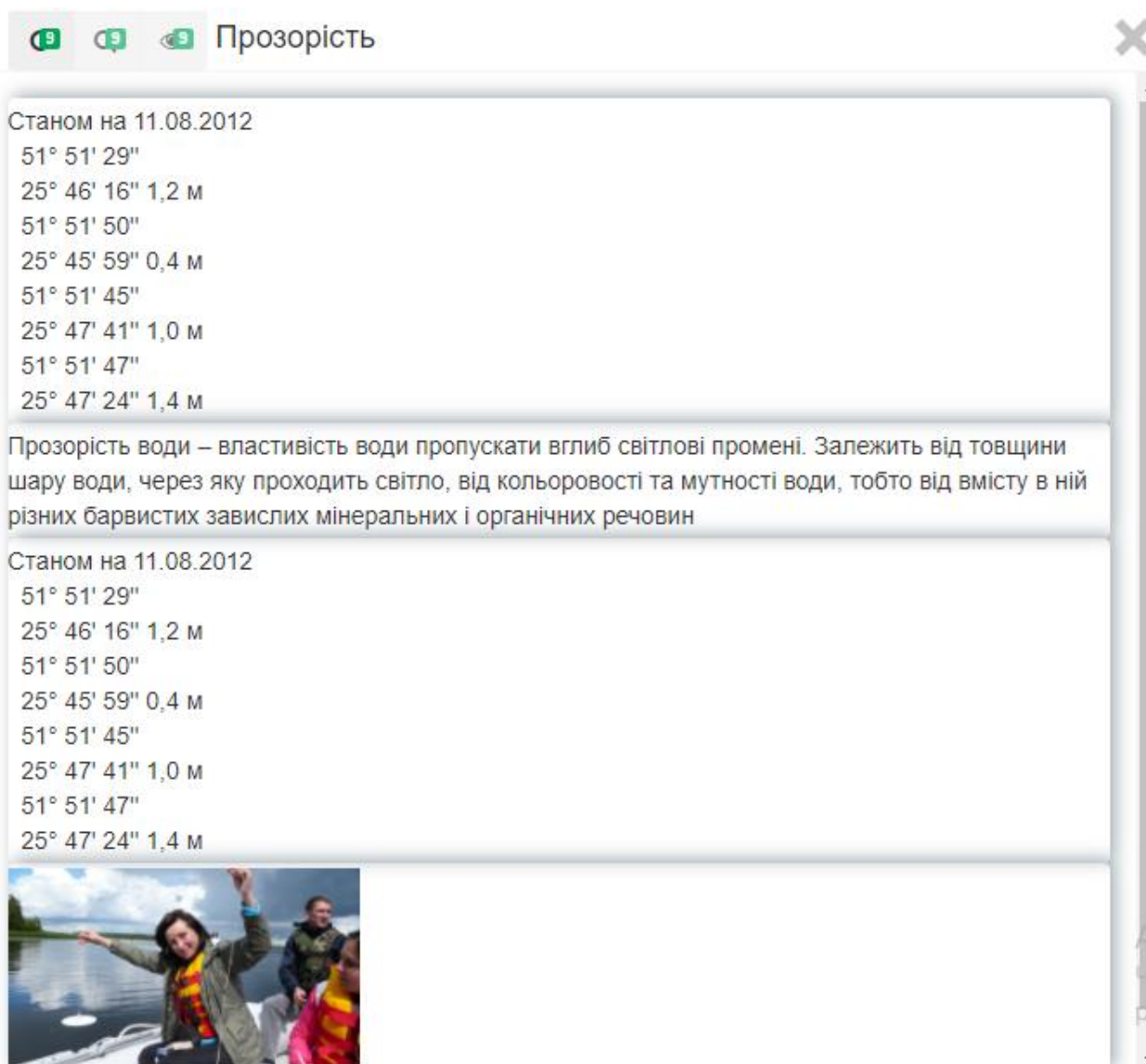


Рисунок 4.14. Інформаційна картка об'єкта онтології паспорту озера Нобель

На початку кожного рівня (крім вищого) є іконка копії обраного на вищому рівні об'єкта – об'єкт класу. Дана копія є пасивною і не містить керуючих елементів.

Табличне відображення  об'єктів онтології є таблицею іменованих атрибутів (метаданих) об'єктів та їх значень.

Графове відображення  візуалізує онтограф паспорту озера.

Представлення у вигляді призми відкривається за допомогою кнопки . Технологічно призма паспорту озера являє собою набір прямокутників-екранів, що відображають прев'ю (від англ. *Preview* – попередній перегляд) змісту термінів та понять, агрегованих у вершинах онтографу [11].

Всі екрани є рівноправними, рівновеликими та об'єднуються в одну фігуру, яка є правильною прямою призмою (основи призми, правильні багатогранники, відсутні). Кожна грань може містити вкладені об'єкти – елементи призми.

Об'єкт грані (елемент призми) являє собою мініатюру (англ. *Thumbnail* – зображення попереднього перегляду) – зображення із супроводжувальним текстом. Кількість таких елементів є необмеженою, а перегляд тих, що входять в онтологічне дерево до даної грані, здійснюється за допомогою значка , наявність якого і означає те, що грань має вкладену призму (рис. 4.15).

Перегляд усіх граней трансдисциплінарної призми паспорту озера здійснюється шляхом її обертання (зліва направо і справа наліво) за допомогою утримання натиснутою лівої клавіші миші (рис. 4.16).

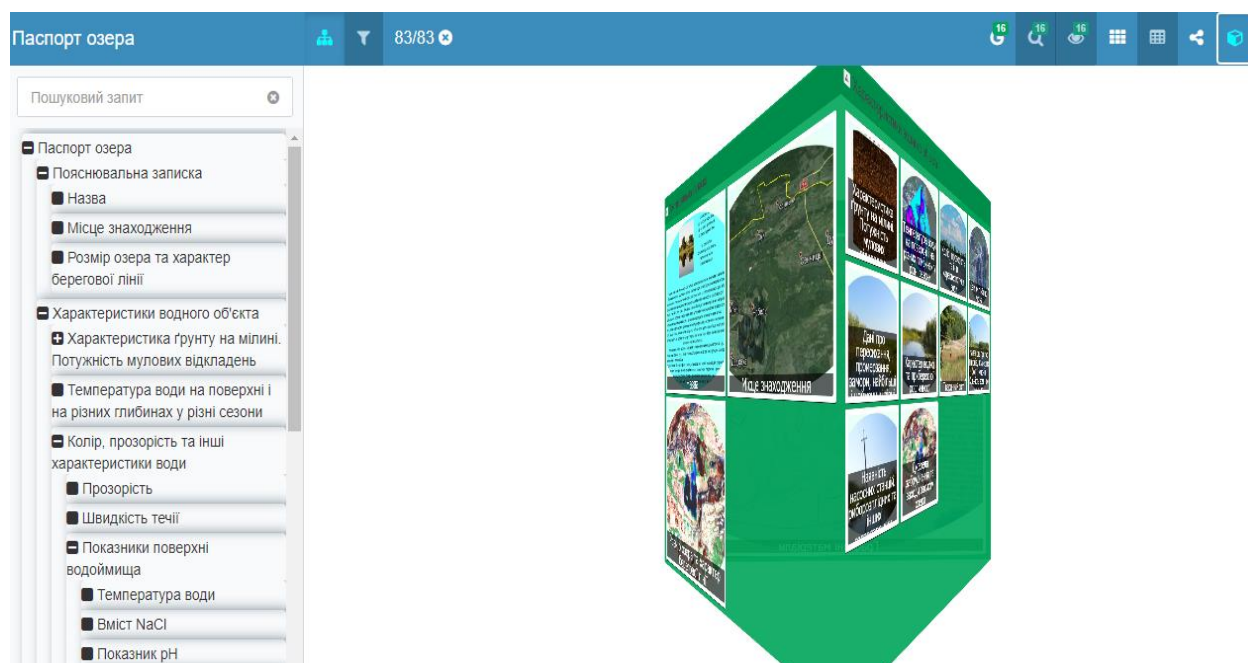


Рисунок 4.15. Трансдисциплінарна призма паспорту озера Нобель

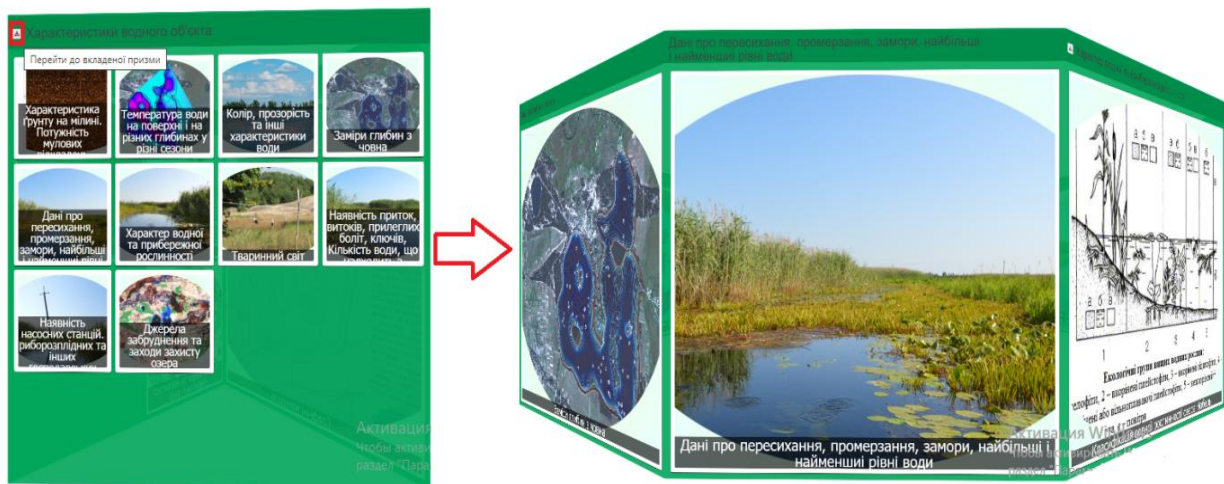


Рисунок 4.16. Перехід до вкладеної призми

Складання екологічного паспорту будь-якого об'єкта вимагає комплексного підходу та експертної оцінки фахівців різних галузей природоохоронного спрямування. В процесі створення екологічного паспорту озера Нобель використовувалася методика формування та використання комп'ютерних онтологій в галузі екологічної освіти.

Онтологічний підхід дозволив перетворити базу даних результатів дослідження озера Нобель на динамічне інформаційне середовище, яке перманентно поповнюється доробками територіально розподілених дослідників різних напрямків екологічної галузі [12, 13]. Кожен розділ паспорту може бути уточнений, розширений, доповнений. Завдяки візуальному відображенню онтографа стають зрозумілими взаємозв'язки між елементами всередині системи, а онтологічний інтерфейс дозволяє поширити екологічні знання серед широкого загалу, зберігаючи семантичні зв'язки між об'єктами комп'ютерної онтології.

Кожен, хто бажає, чи то досвідений вчений, чи еколог-початківець, чи юний дослідник природи, може взяти участь у складанні екологічного паспорту та зробити свій внесок у становлення екологічних культури та свідомості громадян України шляхом створення єдиного інформаційного середовища з використанням сучасних засобів комп'ютерних онтологій та геоінформаційних систем.

Отже, на відміну від інформації, закодованої в алгоритмах, онтологія паспорту озера забезпечує її уніфіковане і багаторазове використання різними групами фахівців на різних комп'ютерних платформах під час вирішення різних задач.

Онтологія Паспорту озера Нобель може застосовуватися для забезпечення професійного розвитку екології як мультисервісний мережевий засіб, в середовищі якого реалізуються функції:

– відбору, накопичення, актуалізації інформації, проведення онтологічного та семантичного аналізу інформації, побудови тематичних глосаріїв, тезаурусів, каталогів тощо на основі виділення категоріальних рівнів мовно-онтологічних описів екологічних знань засобами онтологічного моделювання;

– контекстно-орієнтованої тематичної класифікації та каталогізації інформації;

– онтологічного управління та дослідницького інжинірингу, які забезпечують встановлення ієрархічних структур на всіх рівнях мовно-онтологічного опису екологічних знань;

– формування контекстної зв'язності інформаційних масивів на основі виявлення контекстних невизначеностей та їх включення в існуюче або створюване мережеве онтологічне представлення шляхом автоматичної класифікації та доозначення;

– витягу з множини текстових документів, що відображають екологічні знання, нових знань, їх системно-онтологічної структуризації й формально-логічного подання у вигляді інтерактивних документів;

– агрегації та інтеграції в єдине мережецентричне онтолого-кероване середовище фізично та тематично розподілених гетерогенних інформаційних масивів різних форматів, створених за різними стандартами та технологіями, що описують сучасні екологічні знання;

– забезпечення інтероперабельності інформації не лише на структурному та синтаксичному рівнях, а й на семантико-лінгвістичному, що забезпечує максимально повний доступ до інформації;

– усунення змістових конфліктів між інформаційними одиницями та дублювання інформації;

– доступу до сучасних екологічних знань географічно віддаленим та маломобільним користувачам;

– підключення через інтерфейси інтероперабельної взаємодії користувачів до інших онтологій та інформаційних систем з метою розширення їх можливостей на основі використання технології обміну даними з іншими системами;

– формування онтологічних капсул знань, які містять мережеве онтологічне представлення конкретної галузі охорони довкілля, семантично пов'язані мережеві інформаційні ресурси та підключені індекси додаткових інформаційних джерел у разі потреби, а також індекси контекстної зв'язності з тематично спорідненою науковою інформацією (рис. 4.17).



Рисунок 4.17. Інтерфейс каталогу онтологій о. Нобель, приклад пошуку метаданих

Онтологія паспорту озера Нобель може стати першим кроком на шляху до розробки і впровадження науково-технологічних та методологічних основ STEM-освіти в Україні в галузі охорони природного середовища, що поєднує широке коло дисциплін — від математичних (статистика, теорія графів тощо) до системної біоінженерії, системної біоінформатики тощо. Сьогодні, коли питання дистанційної та інтегрованої освіти є архіактуальним, використання такої онтології в навчальному процесі сприятиме підвищенню якості та швидкості засвоєння знань завдяки врахуванню механізмів когнітивного навантаження та ергономіки.

Онтологія може бути використана не лише в освітній діяльності при підготовці кадрів природоохоронної галузі, а й в аналітичній діяльності органів влади, системи охорони довкілля, науково-дослідницькій діяльності в галузі розробок інноваційних рішень.

РОЗДІЛ 5

ГЕОГРАФІЯ ЕКСПЕДИЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГІДРОЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ

5.1. Дослідження Кременчуцького водосховища

Фізико-географічний опис району досліджень. Черкаська область розташована в центральній лісостеповій частині України, в басейнах середніх течій Дніпра і Південного Бугу. На півночі вона межує з Київською (межа 340 км), на сході – з Полтавською (212 км), на півдні – з Кіровоградською (388 км), на заході – з Вінницькою областями (124 км). Область розташована в центрі України і займає вигідне географічне положення. По її території проходять важливі залізниці та автомобільні магістралі.

Область перетинає головна водна артерія України – судноплавний Дніпро. До нього (на території області) впадають Рось, Вільшанка, Тясмин, Сула і Супой. У формуванні економіки придніпровське положення Черкащини відіграє важливу роль. Більшість великих промислових підприємств області, а також ряд міст (Черкаси, Сміла, Канів, Золотоноша) знаходяться недалеко від Дніпра.

З шести великих Дніпровських водосховищ – Запорізького, Каховського, Кременчуцького, Дніпродзержинського, Київського і Канівського – Кременчуцьке і Каховське мають водообмін 2–4 рази на рік і належать до типу озерних, для яких характерне значне зменшення швидкості течії та інтенсивності процесів самоочищення. На час створення Кременчуцького водосховища площа його акваторії становила 225 тис. га, в тому числі мілководдя – приблизно 42 тис. га.

Стан поверхневих вод характеризується антропогенним тиском суб'єктів господарювання. Біля 8,2 млн м³ недостатньо очищених стоків щорічно надходить від них. Причиною незадовільної роботи очисних споруд є фізична та моральна застарілість обладнання, несвоєчасне проведення поточних та капітальних ремонтів.

Основними джерелами забруднення водних об'єктів є очисні споруди та каналізаційні мережі виробничих управлінь житлово-комунального господарства [1].

Особливості геоморфологічної будови та основні морфометричні характеристики Кременчуцького водосховища. Розміщене на території Черкаської, Полтавської і Кіровоградської областей, воно є основним регулятором Дніпровського каскаду. Корисний об'єм водосховища становить 9 км³, що складає 50% корисного об'єму всіх водосховищ Дніпровського

каскаду. Загальна довжина – 149 км, максимальна ширина – 28 км, середня – 15,1 км, максимальна глибина – 20 м, середня – 6 м. Його площа – 225 тис. га. Запаси води – 13.5 млрд м³. На Кременчуцькому водосховищі розміщені десятки водозаборів. Над Кременчуцьким водосховищем відбувається часткова трансформація повітряних мас, що залежить від контрастів температури повітря та води, а також від швидкості вітру.

В умовах мілководності, розташування в сприятливому кліматі, за розмірами Кременчуцьке водосховище планувалось як одне з найбільш рибопродуктивних в Європі. Планова рибопродуктивність водосховища – 60–70 кг/га, проте вона так ніколи і не була досягнута. Найбільша продуктивність склала 46 кг/га в 1989 р. при загальному вилові більше 10 тис. тонн риби. З 1991 р. спостерігається зниження обсягів вилову до 3–5 тис. тонн на рік. Іхтіофауна Кременчуцького водосховища налічує 41 вид риб. За статистичними даними промислове значення мають 17 видів, у тому числі крупночастикові: лящ, товстолобики, сом, щука, сазан, судак, білий амур, білизна, в'язь; дрібночастикові: плітка, плоскирка, синець, окунь, карась, чехоня, а також верховод і тюлька. Основу уловів в останні роки складають плітка, лящ, плоскирка, синець, верховод, чехоня.



Рисунок 5.1. Кременчуцьке водосховище, Черкаська область, 2009 р.

В Кременчуцьке водосховище тільки по місту Черкаси скид стічних вод, відведених із забудованої території, на якій вони утворилися внаслідок випадання атмосферних опадів, ведеться по 17 випусках без очистки.

Очисними спорудами обладнаний лише один випуск, але й ті не забезпечують необхідної очистки. Реконструкція очисних споруд не ведеться. Аналітичний контроль якості та складу води Кременчуцького водосховища проводиться на семи підконтрольних створах. На створах в районі с. Пекарі, на 5 км нижче скиду очисних споруд міста Канева, а також на 0,5 км нижче скиду очисних споруд ВАТ «Азот» основні гідрохімічні показники складу води відповідають нормам ГДК. На підконтрольних створах на 0,5 км вище водозабору м. Черкаси, на 2 км вище залізничного мосту м. Черкаси, на 1 км нижче Південного промвузла м. Черкаси не виявлено перевищень норм ГДК згідно з Санітарними правилами та нормами охорони поверхневих вод від забруднення №4630-88 «Охорона поверхневих вод від забруднень». Було зафіксовано перевищення БСК₅ лише на останніх двох створах відповідно в 1,3 та 1,6 разів.

В літній період на більшій частині акваторії Кременчуцького водосховища встановлюється озерний режим. При високій температурі повітря спостерігається інтенсивне «цвітіння» води, виникає скупчення водоростей, а їх подальше розмноження має негативні наслідки для санітарно-біологічного стану якості води, внаслідок чого виникає дефіцит кисню в нижніх горизонтах води та в нічні години. Утворюються різноманітні органічні та неорганічні речовини, в тому числі й токсичні [2].

Експедиційні дослідження Кременчуцького водосховища. Співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України були проведені експедиційні дослідження екологічного стану Черкаської області і верхів'я Кременчуцького водосховища 20–25 липня 2009 року (рис. 5.1). Метою експедиційних досліджень був збір первинних даних про екологічний стан складових довкілля відповідно до завдання Президії Національної академії наук України з розробки комп'ютерних систем картографічного забезпечення управління охороною довкілля, планування заходів з попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на рівні областей України. В ході експедиційних досліджень екологічного стану та за даними матеріалів космічних зйомок, синхронних з наземними вимірами показників екологічного стану водних мас, методами кореляційного і регресійного аналізу було відновлено просторово-часовий розподіл цих показників по всій акваторії верхньої частини Кременчуцького водосховища. Створення на Дніпрі каскаду гідроелектростанцій та водосховищ зумовило поступовий розвиток багатьох складних екологічних проблем. У такій ситуації знаходиться й Кременчуцьке водосховище. Внаслідок надмірної експлуатації водосховища площа мілководь з різних причин, але насамперед за рахунок людського фактору,

зменшилась з 41,5 тис. га до 30,6 тис. га, з яких понад 10 тис. га заросли надводною рослинністю та замулились.

Для виконання досліджень було отримано космічні знімки MODIS на період виконання гідроекологічних вимірів параметрів екологічного стану водних мас Кременчуцького водосховища (рис. 5.2).

Дані знімки було залучено для оптимізації сітки розташування станцій відбору проб води, де виконувались гідрохімічні дослідження та заміри параметрів екологічного стану водосховища на 10 станціях. Заміри виконали у створі с. Сокирне, на 10 км за течією нижче основних скидів стічних і зворотних вод м. Черкаси (рис. 5.3). Гідрохімічні дослідження та виміри проводились за наступними параметрами екологічного стану водосховища: прозорість, електропровідність, температура, водневий показник та окисно-відновний потенціал.



Рисунок 5.2. Космічний знімок Ikonos території дослідження (Кременчуцьке водосховище)

Для визначення ступеня забруднення радіонуклідами верхів'я Кременчуцького водосховища було здійснено відбір проб донних відкладень (табл. 5.1). Координати станцій відбору проб придонних вод реєстрували технічними засобами GPS з точністю 15 м (рис. 5.4).



Рисунок 5.3. Визначення станцій відбору проб учасниками експедиції

Таблиця 5.1

Показники якості поверхневих вод

№ стан	Координати		Час відбору (21.07.09)	Глибина, м	Прозорість, м	Електропровід ність, мкС/см	Температура, t°C	Еh, мВ	Ph	Примітки
	X, широта	Y, довгота								
1	49°54,684'	31°86,902'	11:35	4,9	2,2	330	24,8	+205	8,02	Спостері- гається суцільне цвітіння води
2	49°55,779'	31°90,164'	11:50	3,2	1,8	330	24,8	+205	7,59	
3	49°56,660'	31°89,883'	12:10	1,5	1,5	330	24,5	+205	7,83	
4	49°56,964'	31°89,897'	12:20	2,4	2,2	330	24,5	+214	7,83	
5	49°57,497'	31°89,329'	12:35	3,6	2,0	330	24,6	+214	7,95	
6	49°58,038'	31°88,373'	12:45	2,4	2,0	330	24,7	+213	7,99	
7	49°57,424'	31°90,632'	13:00	3,4	2,0	330	24,6	+207	8,04	
8	49°57,704'	31°92,683'	13:05	3,0	2,4	330	24,7	+216	7,87	
9	49°57,338'	31°94,367'	13:15	2,3	2,0	330	24,7	+208	8,0	Зовсім прозора, наявна вища водна рослинність
10	49°58,002'	31°95,008'	13:30	2,0	2,0	320	25,0	+220	8,06	

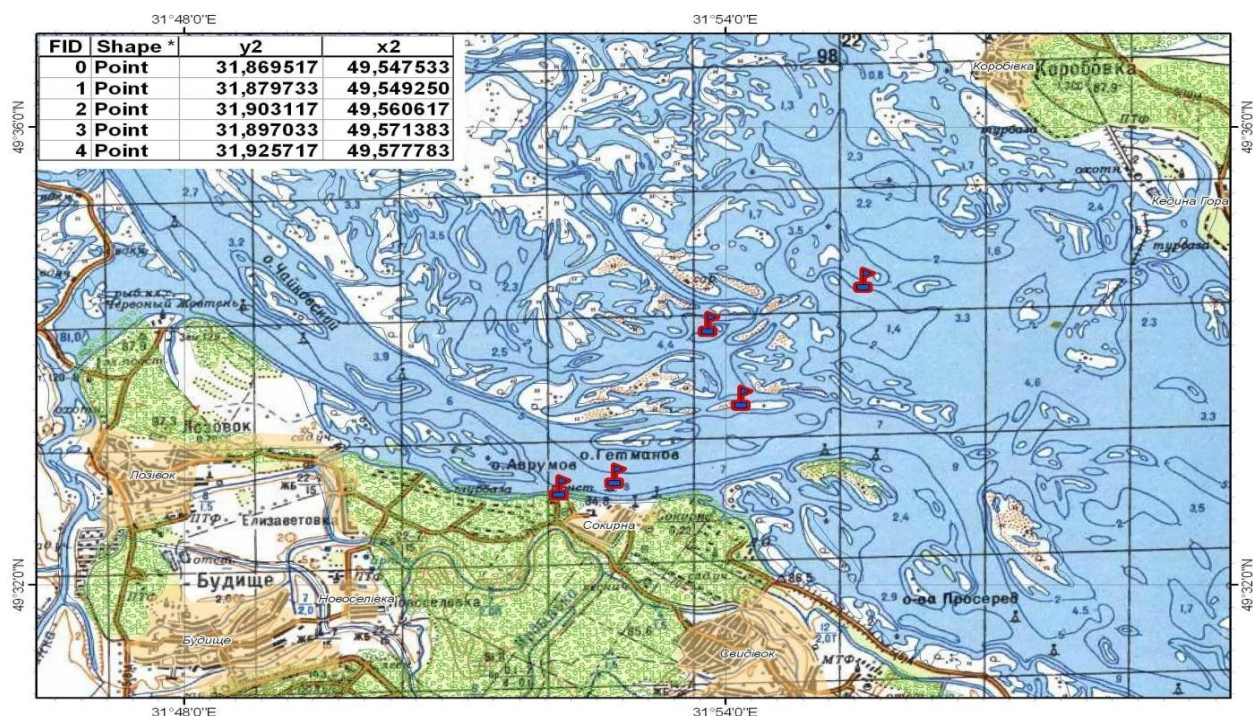


Рисунок 5.4. Карта станцій відбору проб донних відкладень, Кременчуцьке водосховище

Таблиця 5.2

Станції відбору проб донних відкладень для визначення ступеня забруднення радіонуклідами

№ стан	Координати		Глибина, м
	Х, широта	У, довгота	
1	49°32,852'	31°52,171'	5–5,2
2	49°32,955'	31°52,784'	1,3
3	49°33,637'	31°54,187'	3,5
4	49°34,283'	31°53,822'	3,5
5	49°34,667'	31°55,543'	1,5

Пункти контролю розташовані на створі с. Сокирне – с. Коробівка таким чином, щоб були апробовані кожна протока та місця з застійним режимом. Час випробування – середина дня, визначено для усереднення показників кисневого режиму. Координати станцій відбору проб поверхневих вод реєстрували технічними засобами GPS з точністю 15 м (табл. 5.2, рис. 5.5, 5.6).



Рисунок 5.5. Обговорення робочого плану експедиційних досліджень Кременчуцького водосховища, 2009 р.



Рисунок 5.6. Проведення наради співробітниками ІТГП НАНУ в Черкаському обласному управлінні екології та обговорення результатів експедиційних досліджень Кременчуцького водосховища, 2009 р.

У процесі проведення експедиційних досліджень екологічного стану Черкаської області і верхів'я Кременчуцького водосховища з застосуванням ГІС-технологій та ДЗЗ були проведені дослідження акваторії за допомогою космічних знімків для виявлення просторового розподілу фітопланктону та виконані заміри гідрохімічних показників води [3–5].

5.2. Лімнологічні екосистеми українського Полісся

Необхідність збереження і розвитку екологічного потенціалу України, підвищення її еколого-економічної ролі в Європі обумовлюють необхідність реалізації її науково-технічного потенціалу, розвитку наукомістких технологій і технічних засобів досліджень акваторій транскордонних територій Полісся. Рівень вимог до лімнографічної інформації залежить як від географічного положення, так і прийнятої екологічної політики держави. Екологічний стан водойм розглядається як складова екологічної безпеки Полісся, що обумовлює актуальність оперативного гідроакустичного моніторингу окремих характеристик і параметрів станів озер та їхньої мінливості [6].

Території Українського Полісся належать до екологічно нестійких регіонів. Зміна гідродинаміки ґрунтового покриву, обумовлена широкомасштабною осушувальною меліорацією, призвела до зміни атмосферних, геофізичних та геохімічних процесів, які суттєво впливають на стан досліджуваних екосистем.

Лімнологіко-географічні дослідження озер, які формують сучасні ландшафти Західноукраїнського Полісся, обумовлюють пізнання генезису та сучасного екологічного стану. Моніторингові дослідження необхідні для розв'язку важливих задач раціонального ресурсокористування. Базуючись на матеріалах морфолітогенетичного аналізу озерних улоговин, виділені групи озер за походженням: карстово-тектонічні, що приурочені до тектонічних порушень та пов'язані з древнім і сучасним карстом; суфозійно-карстові, що сформовані серед четвертинних відкладів і підстеляються тріщинуватими мергельно-крейдяними утвореннями; заплавні, що пов'язані з річковими системами. Морфолітогенез озер відображається у семи етапах розвитку лімносистем, що корелює з інформацією стосовно озер суміжних територій – Польщі, Білорусі та Малого Полісся України [7].

Озера Західноукраїнського Полісся віднесені до груп малого ($S < 10 \text{ км}^2$) питомого водозбору. Вони характеризуються невеликим ($< 0,5$) і середнім ($0,5\text{--}5$) умовним водообміном, що свідчить про автохтонність процесів водного режиму. Сповільнений водообмін формує індивідуальні особливості гідроекологічного режиму водойм, що вимагає регіонально-локального підходу до розробки схем їх використання та охорони. Запропонована класифікація озер за морфометричними, гідрологічними, біологічними та іншими параметрами необхідна для визначення ресурсного потенціалу водойм та раціонального їх використання в рекреаційно-господарському комплексі регіону.

В цьому контексті надзвичайно важливим є природоохоронний аспект функціонування оз. Світязь в складі Шацького НПП та озер шацької групи, а також озер Нобель і Засвітське в складі проектного Нобельського НПП, оз. Люб'язь на території НПП «Прип'ять – Стохід». Антропогенізації зазнали особливо цінні обводнені та заболочені території, зокрема басейн річок Прип'ять і Стохід.

Фізико-географічний опис району досліджень Шацького поозер'я. Шацькі озера – це група з понад 30 озер у північно-західній частині Шацького району Волинської області, у межиріччі Прип'яті й Західного Бугу, поблизу селища міського типу Шацька. Шацькі озера обрамляють тектонічні розломи, оточені лісовими масивами, де побудовано багато санаторіїв і таборів відпочинку. Тобто існує певне антропогенне навантаження в окремі періоди року. Тому з метою охорони рідкісних природних комплексів у районі Шацьких озер у 1983 році створено Шацький національний природний парк (площа 32 500 га). Характерною особливістю території парку є дуже близьке залягання до поверхні крейдово-мергельних порід, особливо по берегах карстових озер і вершинах горбів і гряд. На території парку знаходиться 4 типи ґрунтів, які містять 10 підтипів і 94 різновиди. Вододіл на досліджуваній території дуже плаский. Низькі водорозділи зумовлюють слабе дреноування території та викликають заболочення. Підземні води знаходяться на водоносних горизонтах четвертинних і верхньокрейдових відкладів. В болотних відкладах кількість води в водоносних горизонтах залежить від ступеня розкладу торфу і наявності в ньому мінеральних добавок.

Територія, на якій розташовані озера, називається Шацьким поозер'ям. Найбільші з Шацьких озер, які розглядалися у складі досліджуваного біогеоценозу під час експедицій, зображено на рис. 5.7.

Шацьке поозер'я являє собою рівнину в межах Поліської низовини. Центральна його частина характеризується поширенням озерних карстових улоговин. Озера, що лежать серед болотних ландшафтів, утворилися внаслідок нагромадження алювію і підвищення рівня ґрунтових вод за умов незначного похилу території й відсутності постійного стоку. Береги Шацьких озер низькі, улогі, складені піщаним, піщано-гальковим і біогенним матеріалами; є заболочені ділянки. Живляться атмосферними і пластовими водами, а також за рахунок водообміну по каналах, якими сполучені окремі озера. Влітку вода добре прогрівається, взимку Шацькі озера замерзають. Як показало дослідження, мінералізація води помірна або знижена, її величина коливається від 75–125 до 200–250 мг/л. Колір води змінюється від жовтуватого-зеленого у мілководних озерах до смарагдово-зеленого у глибоких.



Рисунок 5.7. Ознайомлення експедиційної групи з розташуванням Шацьких озер на території НПП «Шацький»

Дно вкрите переважно піщано-мулистими відкладами, торфовими й сапропелевими мулами, що було встановлено, використовуючи вдосконалений авторами контактний метод відбору донних відкладів. Загалом у Шацьких озерах зберігається досить висока якість води, оскільки поряд немає значних джерел забруднення вод, а статус національного природного парку сприяє охороні вод.

Серед риб водяться вугор, окунь, плітка, щука, лин, лящ, карась, короп, сом, в'юн. Є акліматизовані та інтродуковані види (наприклад, в озерах Світязі, Пулемецькому й Кримному – каналний сом, у Пісочному – форелеокунь, у Пулемецькому – чудський сиг, у Люцимирі і Чорному Великому озері – судак і сазан амурський). В окремих озерах водяться раки. На берегах Шацьких озер – місця гніздування водоплавних птахів (диких качок та гусей, лебедів та ін.). Більша частина Шацьких озер, як уже зазначалося, – у складі Шацького природного національного парку.

Особливості геоморфологічної будови та основні морфометричні характеристики озер Шацької групи. Найчисленнішою групою природних вододільних водойм Поліського озерного поясу України є група Шацьких озер – Шацьке поозер'я. Воно належить до унікальних за своїми природними характеристиками територій і представлене лісовими, лучними, водно-болотними та болотними ландшафтами. За морфометричними показниками

озерних улоговин озера умовно можна розділити на такі групи: а) за площею водного дзеркала: дуже великі (площа водного дзеркала – понад 27,50 км²) – Світязь; великі (площа водного дзеркала – 16,3 км²) – Пулемецьке; середні (площа водного дзеркала становить 10,1 км²) – Пісочне, Люцимер, Луки, Перемут, Кримно, Острів'янське; малі (площа водного дзеркала – 0,1 км²) – Чорне, Піщанське, Соминець, Климовське тощо; дуже малі (площа водного дзеркала не перевищує 0,1 км²) – Олешно, Ритець тощо; б) за максимальною глибиною озерних улоговин: глибокі (максимальні глибини – понад 15,0 м) – Світязь, Пулемецьке, Пісочне; середні (максимальні глибини – до 11,2 м) – Люцимер; мілкі (максимальні глибини – до 6 м) – Чорне (вел.), Перемут, Кримно; дуже мілкі (максимальна глибина не перевищує 3 м) – Довге, Кругле, Линовець, Карасинець, Соминець тощо [3]. Вивчення озер було започатковане академіком П.А. Тутковським в 1899 році під час його мандрівки по Полісся, але детальне дослідження озер ним було розпочате у 1900 році на озері Світязь. Озеро Світязь належить до групи Шацьких озер – найчисленнішої групи природних вододільних водойм Поліського озерного поясу України, яка розміщена між двома постмаксимальними стадіями кінцевоморенних утворень материкового зледеніння на вододільній крейдовій поверхні рік Західного Бугу і Прип'яті [8–10]. Утворення озерних улоговин тут відбувалося у неоднакових геоморфологічних умовах екзогенного рельєфотворення (льодовикового, карстового, флювіального), що і вплинуло на їхні морфометричні та морфологічні відмінності й генезис. Озеро Світязь – найглибше і найбільше за об'ємом прісноводне озеро України. Розташоване на території Шацького національного природного парку (НПП) на Волинському Поліссі. Площа озера – 26 км², максимальна глибина, за даними С. Ленцевича, становить 58,4 м, що узгоджується з даними [7, 8] та підтверджено проведеними дослідженнями. Середня глибина становить 6,3 м, прибережна смуга мілководна. Лімнологічно-географічні дослідження озер, які формують сучасні ландшафти Західноукраїнського Полісся, обумовлюють пізнання генезису та сучасного екологічного стану. Моніторингові дослідження необхідні для розв'язку важливих задач раціонального ресурсокористування. Слід зазначити, що водні екосистеми Шацьких озер зазнають антропогенного впливу внаслідок господарського та рекреаційного використання. Тож під час проведення досліджень підтверджена активізація процесів евтрофікації водойм. Також зафіксоване незначне пониження водного дзеркала у період активної фази сільськогосподарських робіт. Фіксація рівня проводилась методами ДЗЗ. Під час декількох досліджень спостерігалось незначне посилення прогрівання

озер, що може спричинити їх ізоляцію, а у підсумку можливе і заболочення берегів деяких озер.

Експедиційні дослідження озера Світязь проведені в періоди: 1–8 серпня 2010 – року з метою створення еталону оптичних характеристик поверхневих вод України для розробки сучасних методів і технологій тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів суходолу, як джерел комплексного водокористування; 1–7 серпня 2011 року – збір первинних даних гідрологічних, гідробіологічних, гідрооптичних, гідроелектричних і гідрохімічних показників водних мас озера Світязь і прилеглих озер. Еталонна тест-ділянка для визначення якості поверхневих вод за допомогою контактних методів та методів ДЗЗ була обрана на території НПП «Шацький», а саме на озері Світязь. Оз. Світязь займає особливе місце серед 23 озер Шацької групи. Воно має площу 2700 га, а довжина його берегової лінії – 30 км. Посередині плеса – острів площею 7 га. За глибиною озеро не має собі рівних в Європі, в окремих місцях вона сягає 58 м. За твердженнями вчених, аналогів такої чистої води, яка може використовуватись як питна, в Україні немає. Тому саме це озеро обрано для визначення фонового рівня зональної яскравості забруднення поверхневих вод з метою створення оптичного стандарту якості поверхневих вод.

Проведено експедиційні дослідження на території Шацького НПП, в ході яких здійснено вимірювання глибини та рельєфу дна озер Світязь і Пісочне. Виконані ехолотні вимірювання шляхом автоматичного запису лог-файлу з наступною обробкою в ArcGIS, та побудовано 3D-моделі глибин в модулі розширення 3D Analyst (див. розділ 2.2. монографії). За результатами досліджень розроблено прототип макету векторної електронної карти глибин (рис. 5.8–5.10) оз. Світязь Шацького НПП.

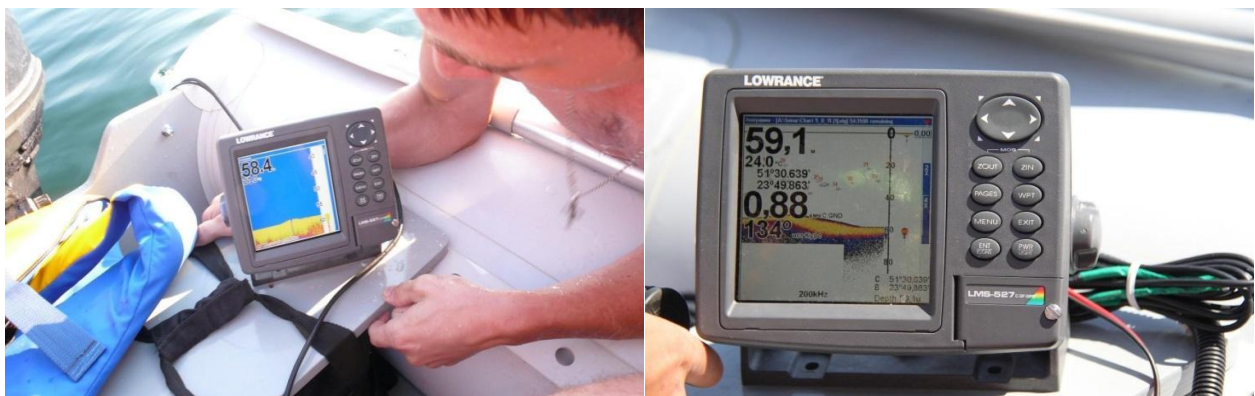


Рисунок 5.8. Батиметрична зйомка, фіксування найглибшої точки на о. Світязь – 58,4 м

досліджені водойми Шацького поозер'я є голоценовими утвореннями, які сформувалися внаслідок розвантаження вод верхньокрейдового горизонту та підвищення рівня ґрунтових вод. У формуванні озерних улоговин головним рельєфоутворюючим чинником був льодовиковий – ерозія та екзарация льодовикових вод, підкачування їх льодом і моренним матеріалом, осідання і танення мертвого льоду. Важливу роль у подальшому формуванні озерних улоговин відіграли карстові процеси та ізостатичні тектонічні коливання, які вплинули на значну тріщинуватість крейдового горизонту. Конкретні гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні та специфічні кількісні показники є елементарними ознаками якості вод. Комплексні кількісні ознаки, що побудовані на інтегруванні елементарних, є узагальнювальними ознаками якості вод. На їх основі визначаються класи, категорії та індекси якості вод, зони сапробності, ступені трофності. Визначені за цими ознаками класи й категорії якості відображають природний стан, а також ступінь антропогенного забруднення вод. Ефективність контактних методів моніторингу поверхневих вод можна суттєво підвищити за рахунок застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу. В їхній основі лежать методи вимірів власного і відбитого електромагнітного випромінювання. При цьому враховується ступінь прозорості земної атмосфери для хвиль відповідного діапазону, а також характер їхньої взаємодії із земними утвореннями. Найбільшою інформативністю в екологічних додатках характеризується оптичний діапазон. Це обумовлено тим, що характер відбитої сонячної радіації дуже чутливий до таких параметрів земних утворень, як концентрація хлорофілу у фітоценозах, завислих органічних і мінеральних речовин – у поверхневих водах, вологості і т. ін.

Обстеження навколишніх територій озер дозволяє зробити негативні висновки про посилення антропогенного тиску на межах Шацького національного природного парку. Так, розробка крейдяного родовища «Хотиславське» (Республіка Білорусь), що знаходиться в 300 метрах від кордону з Волинською областю, може призвести до зневоднення Шацьких озер. Видобуток піска та крейди створює величезний резервуар, куди може перейти вода, що наповнює акваторію групи Шацьких озер [11]. За результатами ряду дослідницьких експедицій українська сторона передала уряду Білорусі всі експертні висновки щодо розробки родовища (рис. 5.11).

Серед антропогенних чинників, що змінюють ландшафтне середовище Шацького поозер'я, можна виділити селітебні навантаження, транспортну та інженерну інфраструктуру, сільськогосподарське використання земель.



Рисунок 5.11. Фото обговорення результатів дослідження експедиційною групою науковців (2011 р., Шацький НПП)

Отже, поточний рівень антропогенного тиску на навколишнє природне середовище робить все більш актуальним вдосконалення існуючої Державної системи моніторингу навколишнього природного середовища, зокрема об'єктів гідросфери. Для виконання цього завдання необхідно працювати з великими масивами статистичних даних про екологічний стан, які доцільно отримувати, використовуючи технології дистанційного моніторингу. Створення фонду космічних знімків лімнологічних об'єктів та застосування актуальних технологій їх обробки суттєво полегшить виконання поставлених завдань.

Фізико-географічний опис району досліджень Нобельського ландшафту. Згідно з фізико-географічним районуванням, у межах Верхньоприп'ятського ландшафтного району Волинського Полісся виділений Нобельський ландшафт [12]. Природоохоронний комплекс вирізняється достатньо добре збереженими водно-болотними геокомплексами заплав річок Прип'ять і Стохід та мальовничими озерами у контрасті з локальними боровими надзаплавними терасами. Головна причина виокремлення Нобельського ландшафту – наявність Стохідсько-Могильовської розломно-блокової структури мантийного закладання, що простягається в субмеридіональному напрямку у долині р. Стохід, а на межі Верхньоприп'ятського ландшафтного району – у субширотному поясі [12–14].

Площа Нобельського ландшафту – 451,27 км², що становить близько 4% території східної частини Волинського Полісся, що у Рівненській області. Цей природний район є структурною складовою Рамсарської транскордонної території «Прип'ять – Стохід – Простир» загальною площею 38856 га. У межах цього ландшафту автори виділили чотири місцевості. Найвищий орографічний рівень посідають місцевості борових терас на алювіальних перевірних водно-льодовикових супісках, підстелених крейдовими породами. Ці місцевості найстаріші з точки зору формування і розвитку ландшафту. Вони порівняно найбільш стійкі щодо природних та антропогенних модифікацій. Місцевості заболочених днищ долин малих річок та дрібних водотоків посідають другий геоморфологічний рівень. Цей тип місцевостей є поширеним у межах Українського Полісся у цілому. Дуже часто трапляється, що долини малих річок на окремих ділянках меліоровані, а їхні русла спрямлені. Третій геоморфологічний рівень посідають місцевості високої заплави р. Прип'ять. Вони мають локальний мозаїчний характер на ландшафтному рисунку. Найнижчий гіпсометричний рівень посідають місцевості низької заплави річок Прип'ять та Стохід. Ці місцевості займають одне із панівних становищ у Нобельському ландшафті. Власне вони і становлять водно-болотні угіддя, які є класичними екосистемами Поліського краю (фізико-географічної провінції) України. Ці геокомплекси є наймолодшими в еволюційній стадії розвитку ландшафту. Вони досить уразливі щодо сучасних глобальних змін клімату, а також антропогенних порушень гідрологічного режиму.

Отже, розрізняють такі місцевості Нобельського ландшафту:

1. Місцевості борових терас на алювіальних перевірних водно-льодовикових супісках, підстелених крейдовими породами.
2. Місцевості заболочених днищ долин малих річок та дрібних водотоків на суглинково-супіщаних та органогенних алювіальних відкладах.
3. Місцевості високої заплави р. Прип'ять на супіщаних алювіальних відкладах іноді з локальними торфовищами.
4. Місцевості низької заплави річок Прип'ять та Стохід на сучасних суглинково-супіщаних та органогенних алювіальних відкладах.

Цей ландшафт об'єднує природні комплекси лабіринтів річок Прип'яті та Стоходу в поєднанні з заплавними озерами, великими площами боліт та заплавних лук, заболочених лісових масивів [15,16]. Нобельський ландшафт знаходиться в межах басейну ріки Прип'ять, правої притоки Дніпра, що протікає на території України та Білорусі. Довжина ріки становить 775 км, площа басейну – 11,43 млн. га. Вона протікає Поліською низовиною, беручи початок біля Шацьких озер і впадаючи в Київське водосховище. Середня

витрата води становить 513 м³/сек. Судохідна частина – від 591 км (територія Білорусі) до гирла. З'єднана Дніпровсько-Бузьким каналом з басейном Вісли.

Річка Стохід – права притока Прип'яті, протікає в межах Волинської (основна частина) та Рівненської областей, беручи початок поблизу м. Луцьк (Волинська височина). Довжина ріки становить 188 км, площа водозбору – 313 тис. га, або 3130 км². Середньорічний водний стік у гирлі становить 240 млн. м³, впадає в Прип'ять за 580 км від гирла. Басейн річки витягнутий з південного заходу на північний схід, розташований у Поліській низовині, і тільки найбільш північна його частина знаходиться на північному схилі Волино-Подільського плато. Поверхнею басейну Стоходу є низовинна плоска рівнина з дерново-підзолистим ґрунтовим покривом, сформованим на супіщаних ґрунтах. У межах басейну залягає виступ докембрійського кристалічного щита (Поліського мосту), прикритий четвертинними відкладами. У басейні річки поширені лісові заболочені масиви (22–25% площі). Русло густо заростає вищою водною рослинністю. У гідрологічному стосунку долина Стоходу характеризується значним розвитком напірних вод у мегрельсько-крейдяній товщі сенонтуронського віку, які в багатьох місцях долини дають виходи джерел. Прип'ять і Стохід, згідно зі статтею 79 Водного кодексу України, належать до категорії великих рік України. Згідно зі статтею 88 Водного кодексу України, на всьому протязі цих річок мають бути прибережні захисні смуги завширшки не менше 100 м з кожної сторони, де забороняється розорювання земель, зберігання та застосування пестицидів і добрив, влаштування літніх таборів для худоби, будівництво і т. п.

Прип'ять і Стохід – ріки рівнинного типу, переважно снігового живлення. Нобельському ландшафту властива мозаїчність гідрографічної мережі. Загальна площа поверхневих вод Нобельського ландшафту, становить 16,21 км². З них площа, зайнята річками, становить 22,69%, меліоративними каналами – 31,22%, озерами – 46,09%. Показник заозереності для згаданого ландшафту становить 0,07%. У ландшафті налічується вісім озер, а саме: Нобель (4,99 км²), Задовже (0,60 км²), Заозер'я (0,06 км²), Засвіцьке (0,25 км²), Ніговище (0,16 км²), Омит (0,25 км²), Сосно (1,08 км²), Ліпінське (0,08 км²). Загальна площа озер становить 7,47 км² (1,66%) від площі ландшафту [17–18]. Озеро Нобель є найбільшим за площею у східній частині Волинського Полісся (Рівненська область).

Ґрунтовий покрив на досліджуваній території представлений переважно торфовими, торфово-болотними та дерновими глейовими ґрунтами. Осушені землі використовуються як пасовища, а також під посіви зернових, технічних культур та багаторічних трав. До переліку водно-болотних угідь, згідно з Рамсарською конвенцією про водно-болотні угіддя, заявлені також (серед

інших 22 на території України) і заплава річки Прип'ять площею 12000 га, і заплава річки Стохід площею 100000 га. Не менше п'ятої частини цих угідь, а за значенням – найбільш цінної їх частини, входить до Регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Прип'ять – Стохід» [19].

Як відзначали деякі дослідники, басейн річки Прип'ять характеризується складними умовами формування гідрохімічного режиму поверхневих вод. Хімічний склад води річок, що протікають заболоченими територіями з підстилаючими водонепроникними породами, залежить від кількості опадів, що випали і які визначають режим болотних вод. Хімічний склад води річок, що беруть початок на підвищених та низьких терасах долини Прип'яті, визначається складом ґрунтових вод, що дренуються цими річками. У верхів'ях Прип'яті та її правих приток велику роль у формуванні складу річкових вод відіграють виходи напірних вод із водоносних горизонтів, розміщених нижче [20]. Більшість приток річки Прип'ять має змішаний характер живлення. Їх склад формується під впливом болотяних та ґрунтових вод, болотяних та напірних вод.

Річка Стохід живиться болотними водами та містить підвищену кількість забарвлених органічних речовин та порівняно невелику кількість мінеральних солей [21]. Останнім часом одним з факторів, що визначають формування хімічного складу води, стали також надходження в річки Прип'ять та Стохід сільськогосподарських, побутових та промислових стоків. Свій вплив також мали як Чорнобильська екологічна катастрофа з потужним викидом в атмосферу радіаційних елементів, так і наслідки перших днів боротьби з нею, а саме хімічне (поліметалічне) забруднення.

Для водних об'єктів характерний широкий спектр цільових призначень, обумовлених різними факторами. Гідрологічні параметри водних об'єктів обумовлені геоморфологічними умовами, а також особливостями територій: рівень антропогенізації, функціональне зонування, спеціалізація аграрного і рекреаційно-господарського секторів економіки.

Особливості геоморфологічної будови та основні морфометричні характеристики озера Нобель. Оз. Нобель має площу водного дзеркала 5,07 км² (за результатами обробки космознімків станом на 2014 р.) та є проточним – річка Прип'ять впадає в нього з півночі і виходить зі східного боку. Улоговина озера має неправильну серцевидну форму. За формальними ознаками о. Нобель – заплавно-руслового походження. Відповідно до проаналізованих даних геологічних досліджень та отриманих натурних експедиційних даних, визначено, що від урізу води на глибині 9 м залягають верхньокрейдові відклади туронського ярусу, що вказує на карстово-карбонатний генезис. Зледеніння також відіграє суттєву роль у генезисі

озерних улоговин території майбутнього парку та Волинського Полісся загалом. Маса льодовика, що рухався у південному напрямку, нівелювала (або «відпрепарувувала») виступи морфоскульптурних елементів рельєфу льодовикового періоду, основу яких складають верхньокрейдові породи, й таким чином у післяльодовиковий період, очевидно в голоцені, виникли сприятливі умови для карстових процесів на крейді. Тому оз. Нобель слід віднести до озер заплавно-карстового походження. Схили улоговини озера досить круті. Ландшафтно-морфологічна структура оз. Нобель, як складного урочища, представлена літорально-субліторальним підурочищем (17,33% від загальної площі) на алювіальних пісках з видовим різноманіттям надводних і підводних макрофітів, субліторальним підурочищем (33,17%) на мулистопіщаних відкладах, що сформувалися на алювіальних пісках, профундальним підурочищем (47,90%) на відкладах сапропелю, що підстеляються верхньокрейдовими відкладами туронського ярусу [20]. Окремо виділяються острівні урочища (1,60% від загальної площі), вкриті свіжими та вологими сосновими борами на прихованоопідзолених дернових глеюватих та глейових щебенюватих ґрунтах, що сформувалися на водно-льодовикових відкладах. Своєрідним екологічним буфером для проникнення біогенних речовин із суходолу в озеро виступають асоціації макрофітів (рогоз, ситник, осока, очерет) на окремих ділянках літорально-субліторальних підурочищ. Разом з тим надводна рослинність додає естетичної краси озеру. Помітних антропогенних модифікацій зазнають аквафації мілководь, що прилягають до с. Нобель.

Аналіз попередніх досліджень та даних Державної системи моніторингу навколишнього природного середовища визначив особливості лімнологічної системи оз. Нобель. Основними складовими системи є озера Нобель та Засвітське, що знаходяться в Зарічненському районі на півночі Рівненської області. Їх режим тісно пов'язаний з режимом річок, тобто живлення твориться за рахунок водообміну з річкою Прип'ять.

Кліматичні умови території поблизу озера Нобель визначаються його географічним розташуванням, зокрема рівнинністю рельєфу, відсутністю орографічних бар'єрів, надмірним зволоженням, відносно малим потенціалом випаровуваності, високим ступенем заліснення та заболочення. Озеро розташоване у вологій, помірно теплій агрокліматичній зоні. Клімат помірний, вологий, з м'якою зимою, нежарким літом, невеликою кількістю опадів [21, 22].

Пряме антропогенне навантаження на озеро є невисоким, оскільки в радіусі 30 кілометрів знаходяться лише сільські поселення, а сільськогосподарська, рибогосподарська діяльності та водозабір не носять

інтенсивного характеру. Між озерами Люб'язь і Нобель великий північний рукав носить назву Парок, а нижче озера Нобель головний рукав (теж північний) називається Струмень, тоді як менший (південний) рукав зберігає назву Прип'ять [20].

Експедиційні дослідження озера Нобель, проведені в періоди: 6–10 серпня 2012 року – збір первинних даних про екологічний стан складових довкілля озера Нобель; 4–11 серпня 2013 року – збір даних про екологічний стан складових довкілля озера Нобель. Комплексними наземними та дистанційними методами моніторингу визначено особливості та ключові проблеми функціонування Нобельської лімнологічної системи. Основними її складовими є озера Нобель та Засвітське, що знаходяться в Зарічненському районі на півночі Рівненської області. На відміну від Шацьких озер, які знаходяться на головному європейському вододілі, ці озера знаходяться в заплаві річкової системи Прип'ять – Стохід. Режим водообміну озер тісно пов'язаний з режимом річок Прип'ять та Стохід, що описані вище.

При проведенні акустичного зондування за відпрацьованими профілями проведено батиметричну зйомку глибин озера Нобель (рис. 5.12–5.14). За допомогою геоінформаційних інструментів програмного комплексу ArcGIS 9.3 вперше побудовано векторну карту глибин даних озер. На рис. 5.12 показано зображення робочого вікна модуля ArcMap із векторним зображенням карти глибин озера Нобель, синтезованого із космічним знімком QUICK BIRD прилеглих територій. За результатами досліджень показано складність рельєфу дна, обумовлену геофізичними умовами формування озера. Якщо говорити про глибини озера Нобель, то в ньому наявні дві карстові лійки. Найглибша сягає 21 м, а друга – 4 м; вони заповнені алювіальними та сапропелевими відкладами. Довжина озера становить 3,35 км, середня ширина – 1,49 км, площа дзеркала води – 4,99 км², максимальна глибина води – 11,9 м, середня – 5,45 м, об'єм водної маси – 26 923 тис. м³. Озеро проточне, в північно-східній частині в озеро впадає р. Прип'ять, а у центрально-східній – витікає. Живиться озеро за рахунок водообміну з р. Прип'ять. Берегова смуга дуже розчленована. Клиноподібною формою врізається в озеро с. Нобель, яке на 1,5 км простягається з півночі на південь. По периметру села береги низькі, пологі, піщані. Південні та південно-західні береги досить розмиті та з дуже крутими схилами. В паводки найбільше заливаються прибережні території, що прилягають до Прип'яті. На озері є чотири острівці загальною площею 8,0 га. У західній частині акваторії розміщені о. Острівок (північніше) та о. Липно (південніше). В північно-східній частині водойми знаходяться острови Петрівське і Песці, останній під час повенево-паводкових піків зникає під водою.

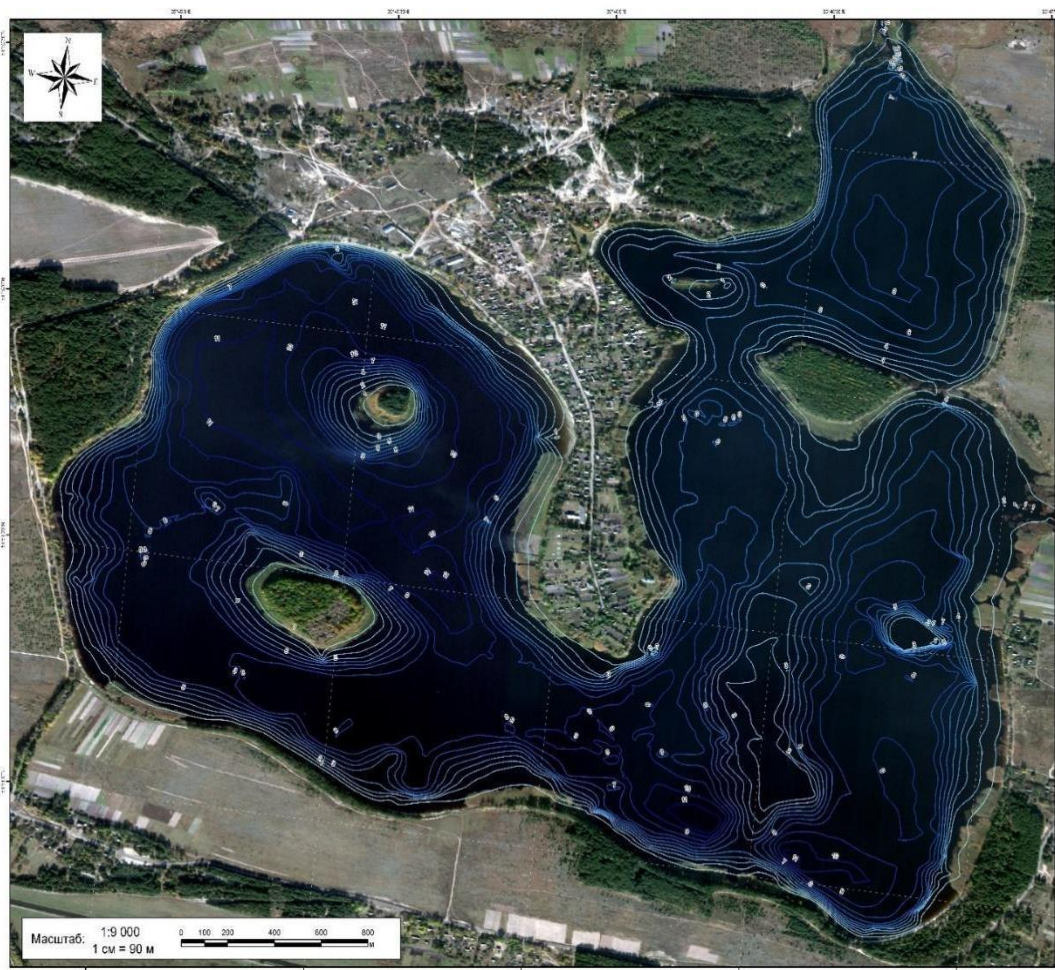


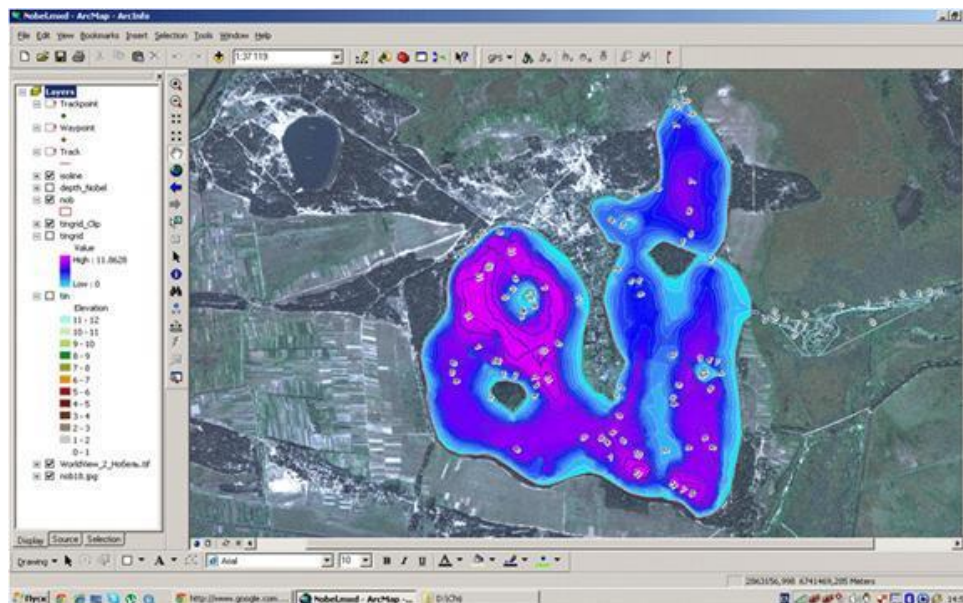
Рисунок 5.12. Векторне зображення карти глибин озера Нобель



Рисунок 5.13. Робота експедиційної групи, збір даних на об'єкті дослідження



Рисунок 5.14. Робота експедиційної групи, обробка даних в реальному часі



а)



б)

Рисунок 5.15. Карта глибин, синтезована із космічним знімком QUICK BIRD прилеглих територій (а), та 3D-модель (б) озера Нобель

Крім проведення безпосередніх вимірів глибин під час польових досліджень методом ехолокації (див. розд. 2), запропоновано та використано підхід батиметрії із використанням даних дистанційного зондування акваторій озер (для озера Нобель). Результати з визначення глибини за даними ДЗЗ довели, що при використанні знімка з космічного апарату «WorldView-2» була отримана більш детальна карта глибин (див. розділ 3, рис. 3.14–3.15).

Перетворення відносних глибин в абсолютні значення здійснювалося з використанням опорних точок, які відбираються за допомогою ехолота. Це дозволило отримати дані для побудови карти глибин і тривимірної моделі озера Нобель.

За результатами досліджень вперше складені батиметричні схеми озер Нобель (рис. 5.15) і Засвітське, на яких чітко видно їх донний рельєф. Морфометрія і особливості будови озерних улоговин дає підстави для припущення про схожість їх походження.

Дослідження водойм забезпечує оцінку їх природних ресурсів та розробку рекомендаційних заходів їх господарського використання. При розв'язку задач раціонального ресурсокористування необхідне врахування генетичного типу озер. Для мезотрофних озер найбільш доцільним є широке використання водних ресурсів у агровиробництві, промисловості, комунальному і рекреаційному комплексах.

Результати експериментів, вимірів, даних ДЗЗ дозволяють провести систематизацію окремих параметрів та запропонувати інформаційну технологію класифікації стану лімнологічного об'єкту у вигляді паспорту (див. розділ 4). При створенні паспорту були використані методи визначення гідрохімічних характеристик озерних і прибережно-водних об'єктів, обробка космознімків, підсупутникові експерименти, статистичний аналіз і обробка даних фізичних, хімічних, електролітичних, фізико-хімічних, біологічних досліджень, геоінформаційна обробка просторових даних тощо. Основою створення паспорту є наземна прив'язка оптико-спектральних характеристик опрацьованих космознімків до гідроекологічних умов акваторії і ландшафтно-екологічних умов території озера.

Отримані результати необхідні для визначення ресурсного потенціалу озер Нобельської лімнологічної системи, можливостей їх використання в рекреаційно-господарському комплексі та обґрунтування доцільності формування на їх основі Нобельського НПП.

Фізико-географічний опис району досліджень НПП «Прип'ять – Стохід». Національний природний парк «Прип'ять – Стохід» (далі НПП) знаходиться в північно-східній частині Волинської області, в межах Любешівського адміністративного району. Ключовим елементом

гідроекосистеми є озеро Люб'язь, що є ядром національного природного парку «Прип'ять – Стохід». Територія даного заповідного об'єкту знаходиться в долині р. Прип'ять, яка в останні десятиріччя була зоною інтенсивної меліораційної діяльності, що спричинило зміни водного режиму річки та озер, через які вона протікає. Найбільшим заплавним озером на території парку є Люб'язь, площа водного дзеркала якого складає, за офіційними даними, 5,19 км², але його рівень за останні роки суттєво знизився.

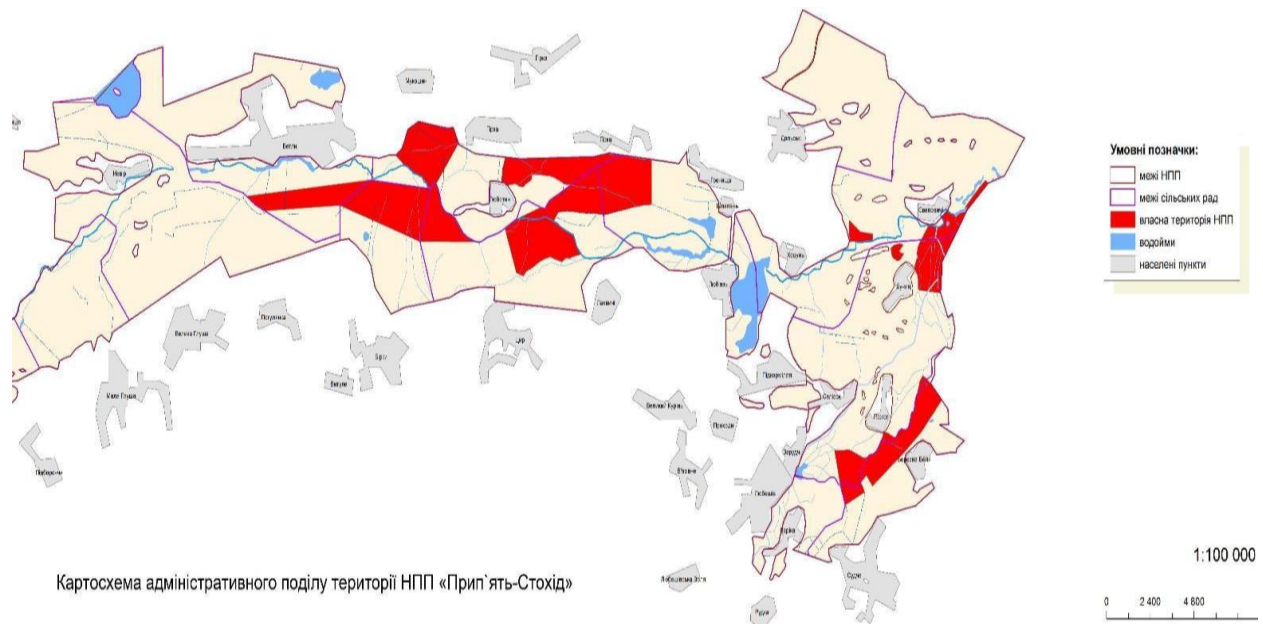


Рисунок 5.16. Картосхема адміністративного поділу території НПП «Прип'ять – Стохід»

Земельні ділянки НПП на окремих відрізках межують: на півночі – з Республікою Білорусь, на сході – з Зарічненським адміністративним районом Рівненської області, на заході – з Ратнівським адміністративним районом Волинської області. Більшість меж земельних ділянок НПП знаходяться у внутрішньо-районних господарських лініях розмежування.

Загалом територія НПП складається з одного великого земельного контуру, витягнутого з заходу на схід у вигляді ламаного багатокутника вздовж заплави р. Прип'ять з розширенням у східній і частково у західній частинах, а також багатьох дрібних окремих контурів – ділянок лісу (окремих кварталів, виділів) (рис. 5.16).

Земельні ділянки НПП знаходяться у межах таких географічних координат:

північна межа – 51°56' північної широти (лісовий масив на кордоні з Республікою Білорусь, за 4 км на північний схід від с. Дольськ, на краю кв. 1

Дольського лісництва Державного підприємства «Любешівське лісомисливське господарство»);

східна межа – 25°42' східної довготи (лісовий масив на кордоні з Рівненською областю, за 5 км на північний схід від с. Сваловичі, на краю кв. 37 Дольського лісництва Державного підприємства «Любешівське лісомисливське господарство»);

південна межа – 51°44' (заплава р. Стохід біля мосту на автошляху Любешів – Залізниця, за 1 км на південний схід від смт. Любешів);

західна межа – 24° 48' (неподалік с. Щитинь).

На території НПП знаходяться 5 озер, з яких більшість (4) – заплавного типу і одне – карстового. Загальною площа водного дзеркала озер 1083 га. Майже всі озера (4) заплавного типу знаходяться у заплаві та долині Прип'яті, а одне з них – на р. Прип'ять.

У Таблиці 5.3 наведені основні морфометричні та гідрологічні характеристики озер НПП.

Таблиця 5.3

Морфометричні та гідрологічні показники озер

Назва озера	Площа водного дзеркала, га	Об'єм води, млн. м ³	Макс. довжина, км	Макс. ширина, км	Глибина, м		Коеф. глибинності, дм	Показник глибини	Показник відкритості	Коеф. довжини	Висота над р.м., м
					макс.	сер.					
Біле (НПП/всього)	400/716,3	32991,6	3,30	2,12	8,0	2,29	0,53	0,80	0,81	-	146,5
Люб'язь	519,0	28000,0	3,80	2,50	3,8	2,10	0,57	0,83	0,70	1,30	140,9
Рогізне	115,0	12800,0	1,68	0,99	2,0	1,11	0,55	0,23	1,04	2,47	145,2
Добре	7,3	186,1	-	-	4,3	2,55	0,59	1,32	0,03	-	144,9
Бережно-вільське	3,7	15,5	0,25	0,20	0,6	0,42	0,70	0,27	0,03	1,67	141,8
Всього:	1083,0										

Особливості геоморфологічної будови та основні морфолого-морфометричні характеристики озера Люб'язь: Озеро Люб'язь велике заплавне з дуже цікавим рельєфом, знаходиться у Волинському Поліссі. Довжина – 3,8 км, ширина – 2,5 км, площа – 5,19 км², пересічна глибина – 2,1 м, найбільша – 3,8 м. Гідрологічний режим залежить переважно від річки

Прип'яті, яка тече через північну частину озера. В озеро з південного заходу впадає річка Коростянка. Люб'язь є частиною національного природного парку «Прип'ять – Стохід» (рис. 5.17–5.18). Озеро неправильної форми: згори воно виглядає так, ніби злилися два круглих озера і їх поєднує лише невеличка протока (місцеві мешканці також розділяють ці частини озера – називають їх «Велике» і «Мале» озера). У нього впадають дві річки: Прип'ять на півночі й Коростянка на півдні. Від рівня води у цих річках залежить і рівень води в озері. Водойма дуже мальовнича, з хорошими глибинами. Береги низькі, подекуди заболочені. Взимку озеро замерзає. Є два острови. Дно вкрите піщано-мулистими відкладами.



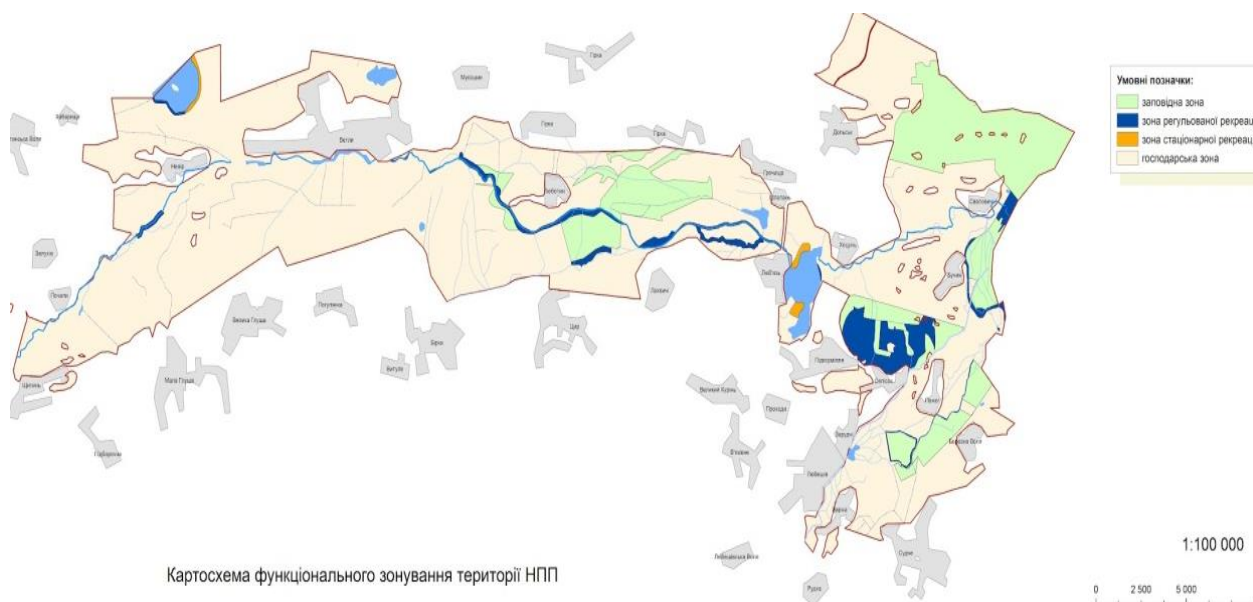
Рисунок 5.17. Фото озера Люб'язь



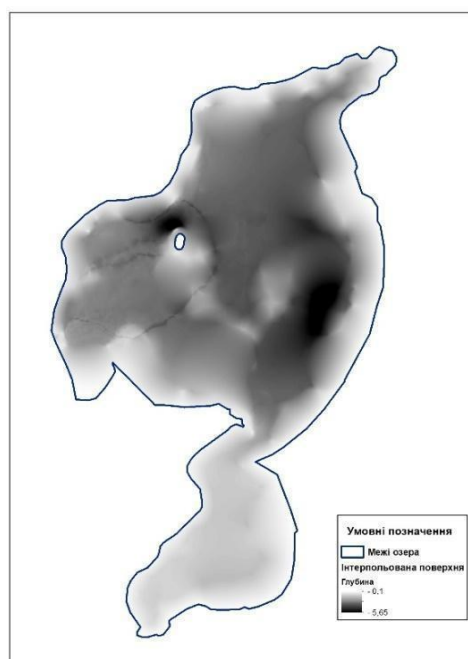
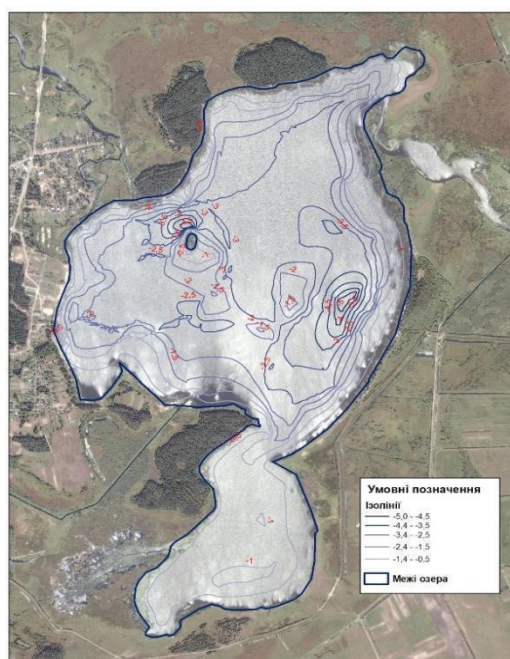
Рисунок 5.18. Фото озера Люб'язь

Експедиційні дослідження озера Люб'язь. Дослідження були проведені у 2014–2017 рр.

Озеро заплавно-русового типу неправильної форми, площа поверхні – 519 га, середня глибина – 5 метрів. Берегова лінія озера низька, піщана, більша частина – заболочена. Спостерігається наявність острівної частини (рис. 5.19–5.20).



а)



б)

Рисунок 5.19. Батиметричні дослідження лімнологічної системи оз. Люб'язь (НПП «Прип'ять – Стохід») а) картосхема функціонального зонування території; б) батиметричні карти оз. Люб'язь



Рисунок 5.20. Космічний знімок Landsat території дослідження озеро Люб'язь

Фізико-географічний опис району досліджень Рівненського природного заповідника. Заповідник є важливою складовою екомережі, ним охороняються природні комплекси Полісся, він має офіційний статус кандидата до Смарагдової мережі України. В його складі – одне водно-болотне угіддя міжнародного значення (Рамсарське угіддя), одне ІВА-угіддя (територія, важлива для збереження видового різноманіття і кількісного багатства птахів та включена до мережі ІВА територій Європи), три масиви, що є в процесі надання статусу Рамсарських угідь. Це другий за величиною природний заповідник в Україні та єдиний заповідник Рівненщини загальною площею 42 288 га. Територія ПЗ розміщена в 4 районах Рівненської області (Володимирецькому, Сарненському, Рокитневському і Дубровицькому) та займає чотири окремі ділянки: «Білоозерський», «Сомине», «Переброди» та «Сира Погоня». Це найбільші за площею і найкраще збережені болотні масиви України, взяті під охорону. Значну роль у їх вивченні та розробці рекомендацій щодо охорони відіграли українські болотознавці на чолі з професором Є.М. Брадiсом і вчені-орнітологи.

Безпосередні експедиційні дослідження проводились на території Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника. Особливостями

даного об'єкту є те, що територія включає типові для Західного полісся болота та одне з найбільших на Поліссі карстових озер. Основу «Білоозерського» масиву складають болота і заболочені ділянки лісу. Тут колись пролягала льодовикова долина, що була прадолиною річки Стир. Згодом долина заболотилась, сформувались болотні масиви, різноманітні за своїм рослинним покривом: озеро Біле площею 453 га. та болото Коза-Березина, які є перспективними на включення до Рамсарського списку. На території розташоване озеро карстового походження Біле, що є другим за величиною в Рівненській області. Озеро з трьох сторін оточує болотний масив Коза, на якому зростають реліктові види і представлені всі основні рослинні угруповання боліт Полісся. Середня глибина – 10 м, максимальна – 26 м, об'єм води – 60–70 млн. м³. Водна рослинність розвинена слабо, береги переважно незаболочені. В озері зростають рідкісні в Україні реліктові види – молодильник озерний та хара витончена. Обидва види занесені до Червоної книги. Разом з тим на Білоозерській ділянці присутній постійний антропогенний вплив. Дана природоохоронна територія безпосередньо межує із населеними пунктами Більська Воля, Рудка, Озірці, звідки відбувається захід місцевих жителів, проникнення свійських і домашніх тварин, шумовий вплив тощо. На озері Біле є зона рекреації з туристичною базою, де постійно відбувається рекреаційне навантаження не тільки на дозволеній території, а й на заповідній частині озера, що призводить до накопичення великої кількості сміття та порушення функціонування екосистем. Білоозерська ділянка знаходиться у Володимирецькому районі Рівненської області між селами Озерці, Рудка, Більська Воля. Загальна площа масиву – 8 051 га, з них лісів – 5 777,4 (71,7%), боліт – 1 590,1 (19,8%), водойм – 454,1 (5,6%) [14, 16]. Водноболотні угіддя Біле озеро та болото Коза-Березина знаходяться у межиріччі Стоходу, Прип'яті і Стиру, і відіграють важливу роль у підтриманні гідрологічного режиму великого регіону у центральній частині Західного Полісся, тобто є своєрідним регіональним стабілізатором гідрологічного режиму, зокрема підземних водних горизонтів, що необхідний для функціонування водних, болотних, лісових і лучних екосистем, і відповідно – збереження усього комплексу біорізноманіття, в тому числі і рідкісного, формуванні елементів регіонального клімату, якості питної води у навколишніх населених пунктах.

На території Білоозерської ділянки присутній постійний антропогенний вплив, зумовлений нецілісністю території, що охороняється. Для прогнозу змін, які можуть відбутися на території природного заповідника, за результатом проведених польових досліджень та здійснених математичних розрахунків на основі наявних даних, встановлено, що основними факторами

антропогенного впливу (у порядку збільшення інтенсивності) є лісові пожежі та рекреація. Основними реципієнтами впливу є болотні, лісові угіддя, акваторія озера Біле, прибережна зона.

Особливості геоморфологічної будови та основні морфолого-морфометричні характеристики озера Біле. Озеро Біле площею 453 га та болото Коза-Березина є перспективними на включення до Рамсарського списку. Загальна площа, за здійсненими підрахунками в процесі побудови шару ArcMap з використанням інструментів ГІС, встановлена: 2 259,114685 га. Територія включає глибоке оліготрофне карстове озеро Біле, болото Коза-Березина, заболочені ліси та незаболочені соснові ліси між ними. Рамсарські критерії: 1, 2. Обґрунтування рамсарських критеріїв: (1) Включає типові для Західного полісся болота та одне з найбільших на Поліссі карстових озер. (2) Флора угіддя включає ряд рідкісних видів рослин – лікоподієлу заплавної *Lycopodiella inundata*, діфазіаструм сплющений *Diphaziastrum complanatum* і триколосковий *D. tristachium*, росички проміжну *Drosera intermedia* та англійську *D. anglica*, шейхцерію болотну *Scheuchzeria palustris*. За фізико-географічним районуванням України (1968) територія належить до зони мішаних лісів області Волинського Полісся Нижньогоринського фізико-географічного району; за геоботанічним районуванням України (1977) – до Європейської широколистяно-лісової області, Східноєвропейської провінції, Поліської підпровінції (Волинського Полісся), Західнополіського (Ковельсько-Сарненського) округу і займає крайню північно-східну його частину. Континентальний біогеографічний регіон на карті Смарагдової мережі Європи. Фізичні особливості водно-болотних угідь: Озеро Біле карстового походження має середню глибину 10 м, максимальну – 26 м, площу – 453 га, довжину – 3 км, ширину – 2 км. Водна рослинність розвинена слабо, береги переважно незаболочені. Протяжність у межах водно-болотних угідь (територія Рівненського природного заповідника) становить 5 км. Болото Коза-Березина знаходиться в реліктовій долині, має ширину 1–4 км. По болоту протікає невеличка річка Березина з каналізованим руслом. Значними є незаболочені території з лісовою рослинністю. Фізичні особливості водозбірної території: водозбірна територія має площу близько 300 км² (без урахування водно-болотних угідь), заліснена на 85%. Заболоченість становить близько 8%, села, орні землі і луки займають майже 2%. На озері Біле є зона рекреації з туристичною базою, де постійно відбувається антропогенний вплив не тільки на дозволений території, а і на заповідній частині озера, що призводить до накопичення великої кількості сміття та порушення функціонування екосистем [7–9].

Експедиційні дослідження озера Біле. Озерним комплексам належить провідна роль у регулюванні і формуванні стоку річок, процесів самоочищення води, нагромадження речовин. Акваторія і береги озер є середовищем збереження та розвитку біорізноманіття.

Застосовуючи контактні методи досліджень, за допомогою гідролокаційного пристрою були проведені батиметрична зйомка озер та експрес-аналіз фізико-хімічних показників озер у різних частинах акваторії. Також здійснено ознайомлення та збір даних щодо природно-ресурсного потенціалу територій Рівненського природного заповідника та Національного парку «Прип'ять – Стохід». За результатами проведення експедиційних робіт було відібрано проби води оз. Біле для проведення гідрохімічного аналізу, зокрема за такими нормативними показниками, як: рН, вміст сульфатів, нітритів, нітратів, солей амонію, хлоридів, фосфатів, кальцію, магнію, заліза, кремнію. Гідрохімічний аналіз проб води було проведено лабораторією Інституту гідробіології НАН України, за результатами якого перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) не було зафіксовано. Результати аналізу в табличній формі та векторний шар даних, що показує місця взяття проб, відображено на рис. 5.22.



Рисунок 5.21. Відбір проб води за визначеними точками відбору проб, о. Біле, Рівненський природний заповідник (2016 р.)

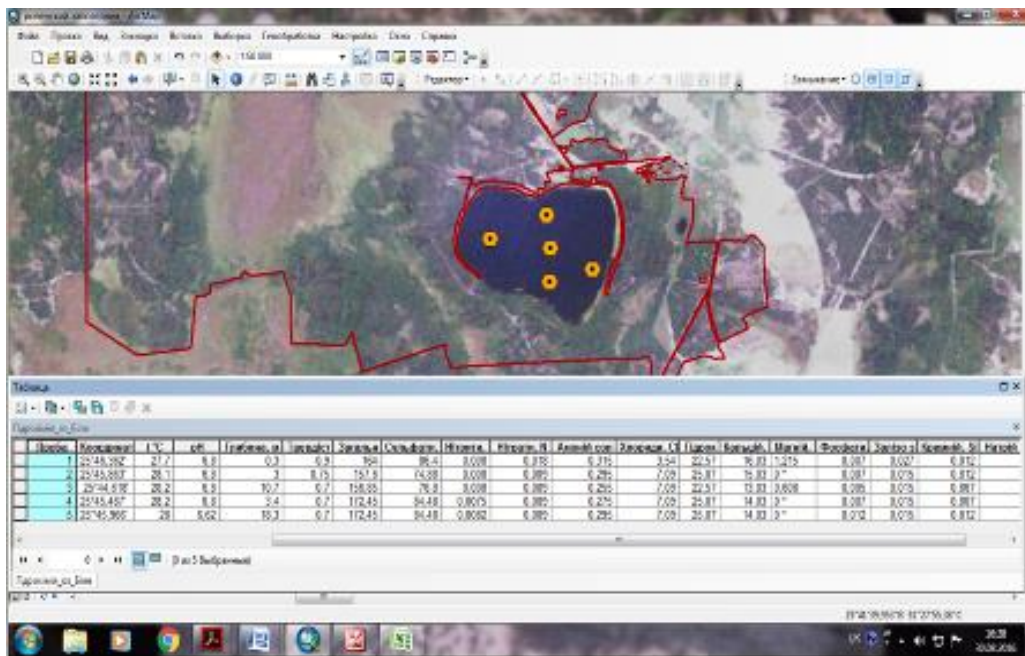


Рисунок 5.22. Робоче вікно модулю ArcMap із результатами хімічного аналізу проб води озера Біле

Для уточнення фізико-географічних характеристик оз. Біле та використання їх в екологічних дослідженнях було проведено ехолокаційну батиметрію акваторії (вимірювання глибин за допомогою спеціалізованого ехолокаційного пристрою) та фіксування місць проростання водної рослинності. За результатами вимірів складено батиметричні карти (рис. 5.21, 5.22), максимальна зафіксована глибина озера склала 23,8 м.

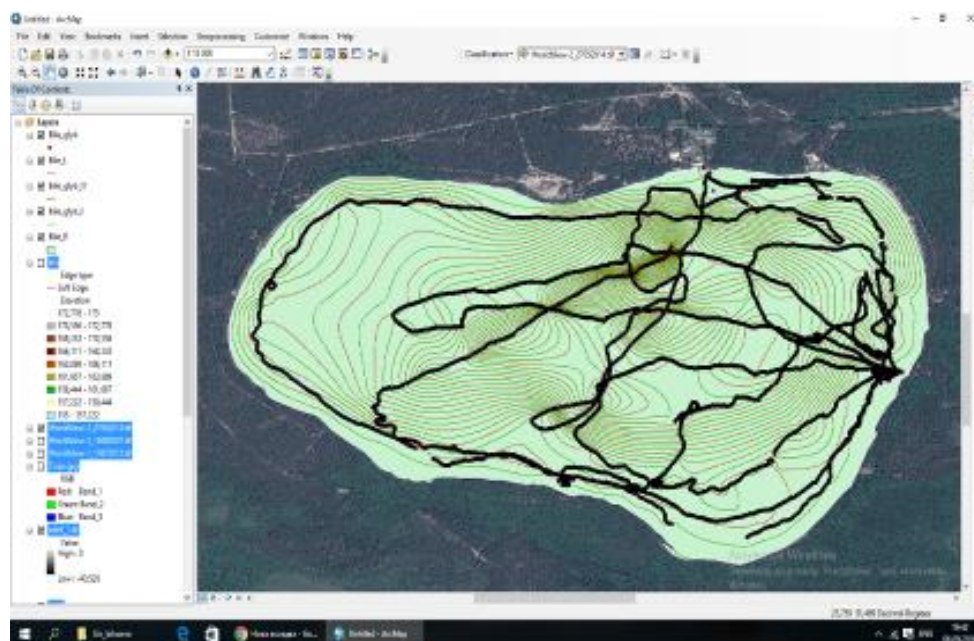


Рисунок 5.23. Робоче вікно модулю ArcMap. Маршрут вимірів та батиметрична карта акваторії озера Біле

При проведенні експедиційних досліджень в 2015–2016 роках озера Біле (Рівненський природний заповідник) здійснено батиметричну зйомку, використовуючи гідроакустичний метод, який полягає в ехолотному зондуванні з синхронною GPS-прив'язкою ехолотних профілів (див. Розділ 2). За результатами проведення зйомки, в середовищі ArcGIS синтезуються картографічні моделі дна озер, створюються батиметричні схеми і гіпсометричні моделі (рис. 5.23). Окрім дослідження стану лімносистеми, експедиційні роботи передбачали дослідження антропогенного навантаження на територію Білоозерської ділянки та виявлення порушених місць Рівненського ПЗ (рекреаційне навантаження, база відпочинку).

Зазначимо, що, незважаючи на формально високий природоохоронний статус даної території, на деяких її частинах дозволяється рекреаційна діяльність, яка часто набуває стихійного характеру. Зокрема, це 150 м берегової лінії на східному та північному узбережжях озера, а також смуга його акваторії шириною 50 м (рис. 5.24–5.25).

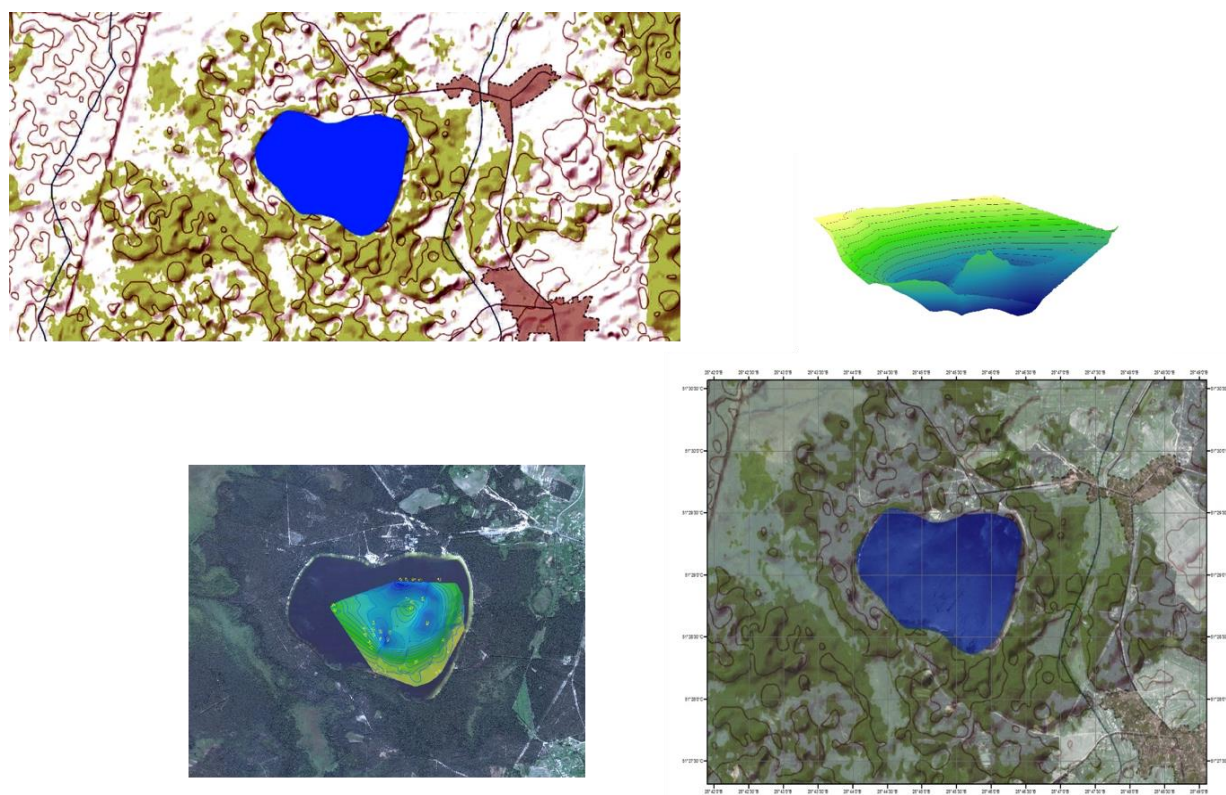


Рисунок 5.24. Картографічні моделі дна озера Біле Рівненського ПЗ

Даний чинник створює значне рекреаційне навантаження, кількісне та якісне оцінювання та регламентація граничних масштабів якого являє собою актуальну науково-прикладну задачу.

**Водно-болотні угіддя
Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника**

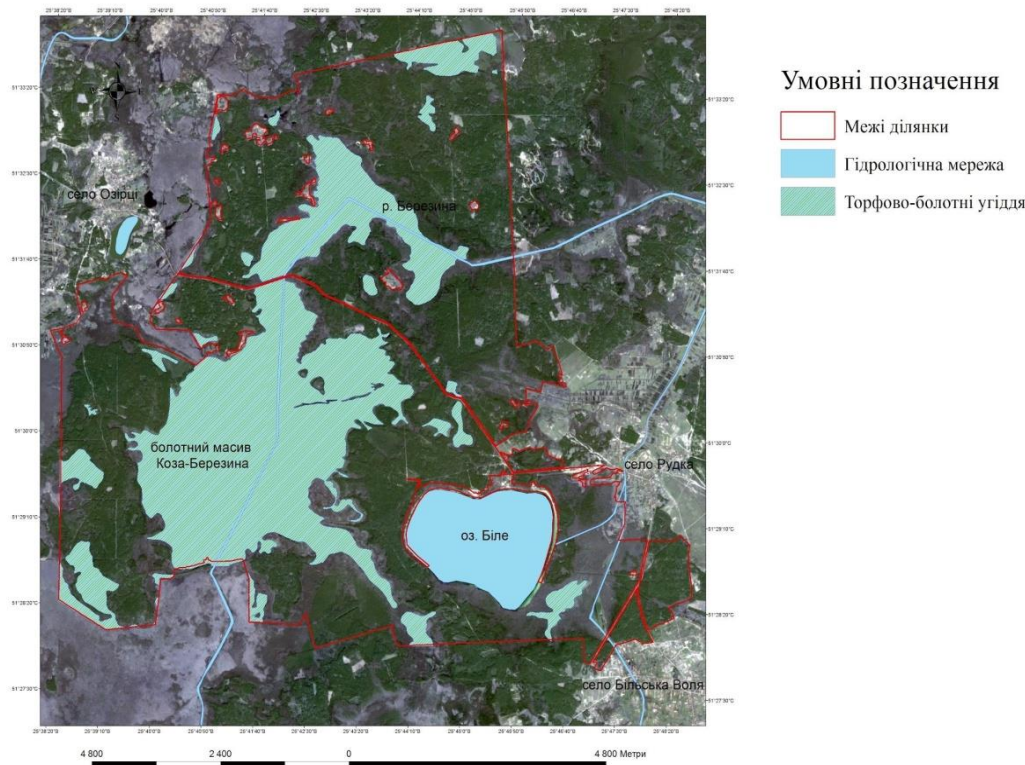


Рисунок 5.25. Картографічна модель водно-болотних угідь Рівненського ПЗ

В результаті за допомогою GPS-приймача зафіксовано численні місця розташування звалищ неконтрольованого викиду сміття, стихійних кемпінгів, місця розташування кострищ, місця випасання худоби (див. Розділ 2).

5.3. Озера Українських Карпат (НПП «Синевир»)

Фізико-географічний опис району досліджень Карпатського регіону досліджень. Район досліджень за фізико-географічним районуванням належить до Вододільно-Верховинської області хребта Привододільних Горган, де горотворними породами здебільшого є ямненські крупнозернисті пісковики. Клімат цього району помірно холодний з ознаками континентальності. Надмірна вологість та значна кількість опадів (до 1 238 мм/рік) сприяють процесам заболочування. Згідно з біогеографічною характеристикою – це Альпійський біогеографічний регіон на карті Смарагдової мережі Європи. За геоботанічним районуванням України – це Східнокарпатська гірська підпровінція Центральноєвропейської провінції Європейської широколистяної області. Належить до басейну Дунаю. У лісових поясах Карпат кількість озер льодовикового походження незначна.

Виникнення деяких із них пов'язане з вулканічними процесами у минулому, а утворення решти озер зумовили обвали у горах.

Згідно з паспортизацією водно-болотного угіддя, внесеного до Рамсарського списку, озеро Синевир є унікальною та найбільшою в Українських Карпатах водоймою природного походження за площею (близько 8 га під час повного наповнення), максимальною глибиною (до 23,5 м) та об'ємом води (близько 400 тис. м³). Озеро утворилося у післяльодовиковий період внаслідок перекриття зсувами річкової долини. Воно відіграє важливу роль у підтриманні водного режиму річки Тересля – притоки Тиси, яка впадає в Дунай. Озеро живиться трьома постійними гірськими потічками, замуленими в місцях впадіння в озеро. Там відбувається процес заболочування з формуванням евтрофних трав'яних (лепешняково-хвощевих) боліт. На основі обґрунтування рамсарських критеріїв, це місце мешкання низки рідкісних видів тварин і зростання рідкісних видів рослин. Угіддя підтримує існування низки популяцій видів, важливих для збереження біорізноманіття Карпатського біогеографічного регіону (рис. 5.26).



Рисунок 5.26. Фізико-географічні умови озер Синевир та Озірце

За геофізичними умовами озеро Синевир розташоване на південних схилах Горган на висоті 989 м над рівнем моря. Озеро утворилося внаслідок обвалу скель і перекриття долини гірського потоку. Геологічна структура визначається розташуванням на межі центральної синклінальної і внутрішньої антиклінальної зон Карпат, розвитком осадових утворень флішових формацій,

які відклалися починаючи від верхньої крейди до олігоцену включно. Згідно з геоморфологічним районуванням, озеро знаходиться в районі середньовисотних хребтів і гірських груп Ґорґан Вододільно-Верховинської області Карпатської країни. Переважають гірсько-лучні, гірсько-підзолисті, бурі гірсько-лісові, дернові ґрунти. Вода озера Синевир належить до гідрокарбонатно-сульфатного та сульфатно-гідрокарбонатного типів з мінералізацією 107–186 мг/л, чиста, має постійну температуру +11°. Середня температура повітря найтеплішого місяця (липень) – +13°C, найхолоднішого (січень) – –10°C. Зима характеризується високими температурами і вологістю повітря, безморозний період триває 110–130 діб, період весняного сніготанення – близько 25 діб. За рік випадає 950–1 050 мм опадів.

Фізичні особливості території обумовлюють формування водозбору Синевирського озера по всьому його периметру у гірській місцевості Верховинських Карпат. Контури водозбору Синевиру визначені вершинами гір Красна (1 311,2 м) і Кліва (1 228,0 м) з максимальною висотою 1 495,6 м над рівнем моря (гора Озерна). Площа водозбору становить 2,3 км². Живлення відбувається за рахунок поверхневих і атмосферних вод. В озеро впадають три заболочені в місцях впадіння гірські потічки. Проточність та саморегуляція рівня води в озері забезпечується Синевирським потоком, що витікає за 350 м західніше озера з-під обвалу-зсуву на рівні 913 м вище рівня води в морі і живить річку Тербля.

Особливості геоморфологічної будови та основні морфолого-морфометричні характеристики озера. Синевирське озеро має форму неправильного чотирикутника, невеликі миси утворюють незначні затоки. На середині водойми – невеликий острівець, в період підняття рівня води він зникає під водою. Береги озера круті, місцями обривисті. Навколо озера зростають вікові смереки і ялиці. В західній частині озера вдало вписався в навколишній ландшафт оглядовий майданчик. Вода Синевирського озера прозора, блакитно-зеленувата, під час дощів – каламутніє. Улоговина Синевиру лежить у долині, що утворена чотирма потоками. Спочатку зливаються долини потоків, а далі дві нові долини, розділені вузьким гребенем (найвища частина якого з'являється над рівнем води в озері у вигляді невеликого острова), також з'єднуються між собою перед дамбою. Обвал-зсув, який перегородив долину Синевирського потоку і зумовив утворення озера, відбувся 10–11 тис. років тому. Дамба, якою перегороджена долина Синевирського потоку, природна. Її площа становить 60,1 тис. м², найбільша потужність акумулятивних нагромаджень – близько 38 м, їхній об'єм – 847 тис. м³.

Сучасне дно озера є вторинним. Воно змінене акумулятивними, ерозійними процесами, що відбувалися тут протягом усього його існування. Головні постачальники уламкового матеріалу в озеро – потоки, що впадають у нього. Твердий стік в озеро становить близько 50 т/рік, а з озера – не більше 1 т/рік, тобто 98% твердого стоку акумулюється в озері. Зараз в чаші озера зосереджено майже 200 тис. м³ озерних відкладів, внаслідок чого у західній частині озера мулисті відклади завтовшки 11–12 м майже вийшли на поверхню. Вода тут добре прогрівається, що стимулює буйний ріст вищої водної рослинності, відмирання якої призводить до вторинного забруднення озера.

Експедиційні дослідження озер Синевир та Озірце. Гідроакустичне моделювання рельєфу дна озер. В 2014–2015 рр. співробітниками Інституту було проведено дослідження лімнологічних систем на території національного природного парку «Синевир». Методика запропонованих досліджень передбачає застосування даних лімнологічного-географічного аналізу озерних комплексів Карпат для інтерпретації результатів ехолотного профілювання. Для батиметричних досліджень використовувався сучасний гідроакустичний метод, який полягає в ехолотному зондуванні з синхронною GPS-прив'язкою ехолотних профілів і успішно апробований на озерах Західного Полісся.

Озерні комплекси Українських Карпат утворились внаслідок горотворчих процесів та під час відступу льодовика. Водойми льодовикового походження в субальпійському поясі розміщені на днищах просторих, іноді скелястих цирків та амфітеатрів, які виникли в процесі четвертинного зледеніння. У лісових поясах Карпат кількість озер льодовикового походження незначна.

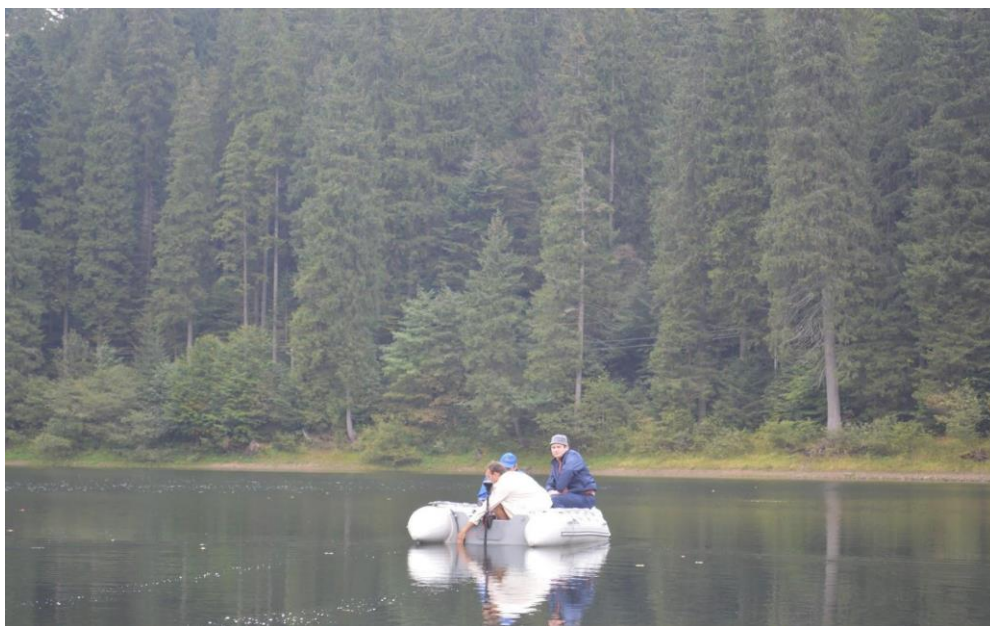


Рисунок 5.27. Проведення батиметричних вимірів на човні з електродвигуном, оз. Синевир (2013 р.)

При проведенні гідроакустичних досліджень гірських озер за відпрацьованими профілями проведено батиметричну зйомку (рис. 5.27) глибин озера Озірце. Геоінформаційними інструментами програмного комплексу ArcGIS 9.3 побудовано векторну карту глибин даних озер. На рис. 5.28–5.29 показано зображення робочого вікна модуля ArcMap із векторним зображенням карти глибин озера Озірце. Слід зазначити, що подібне представлення озер за допомогою ДЗЗ є вкрай необхідним при розробці і застосуванні паспортів лімнологічних систем, бо дозволяє отримати системний погляд з будь-якого питання забезпечення екологічної безпеки.

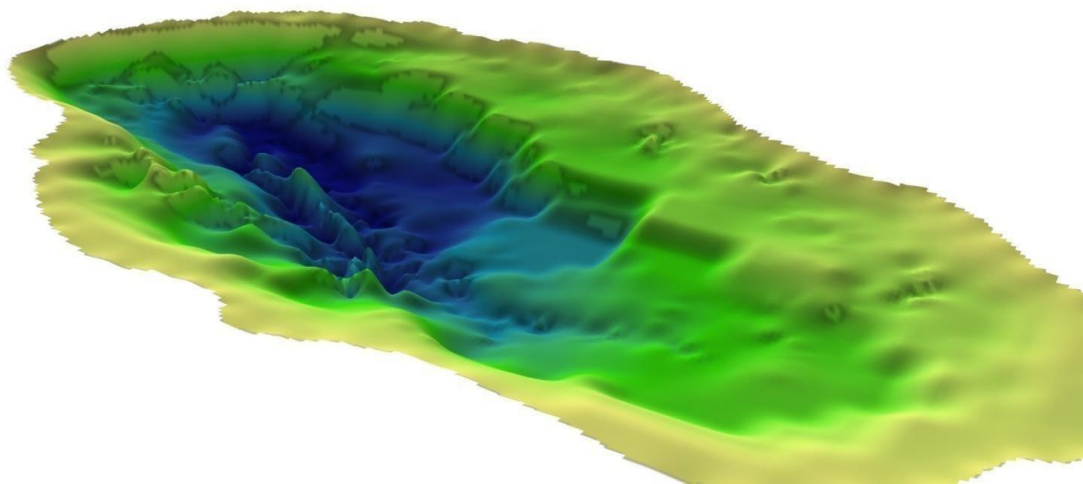


Рисунок 5.28. Прототип макету векторної електронної карти глибин озера Озірце НПП «Синевир»

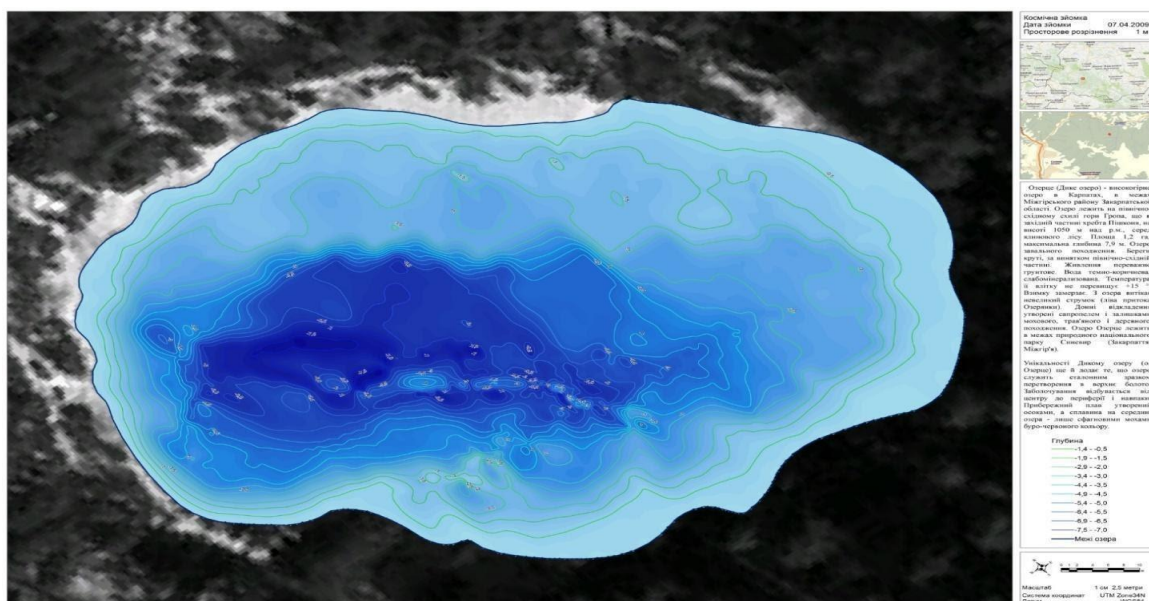


Рисунок 5.29. Робоче вікно модуля ArcMap із векторним зображенням карти глибин озера Озірце

Природний та антропогенний вплив на гірські ліснокомплекси призводить до змін морфометричних параметрів, об'єму вологісного режиму, фізико-хімічних параметрів стоку, біорізноманіття та продуктивності гідробіонтів. Тому пропонується напрямок гідроакустичних досліджень рельєфу дна гірських водойм забезпечує виявлення закономірностей і спрямованості трансформаційних гідроекологічних процесів (рис. 5.30).



Рисунок 5.30. Робота групи науковців експедиції над експериментом щодо дослідження відбивної активності в товщі води озер



Рисунок 5.31. Обміління озера Синевир, 2015 рік. Експедиційні дослідження у найпосушливіший період.

Методика пропонованих досліджень передбачає застосування даних лімнологічного-географічного аналізу озерних комплексів Карпат для інтерпретації результатів ехолотного профілювання. Для батиметричних досліджень використовується сучасний гідроакустичний метод, який полягає в ехолотному зондуванні з синхронною GPS-прив'язкою ехолотних профілів і успішно апробований на озерах Західного Полісся [23–25].

Для проведення батиметричної зйомки використовувався надувний гумовий човен «Brig Baltic», на якому було встановлено ехолот Lowrance: «LMS-527CDF IGPS», робоча частота випромінювача звукових хвиль становила 200 кГц. Частота оновлення сигналу GPS-приймача – 10 Гц. В більшості випадків об'єм кожного ехолотного профілю становить від 5 до 30 тис. вимірюваних значень у залежності від частоти і часу запису в один файл. Кожне значення є інформацією про координати точки зйомки, глибину, дату і час ехолотного проміру, температуру поверхні води, зміщення відносно попередньої точки проміру та іншу допоміжну інформацію. За результатами проведення зйомки синтезуються картографічні моделі дна озер, створюються батиметричні схеми і гіпсометричні моделі (рис. 5.32).

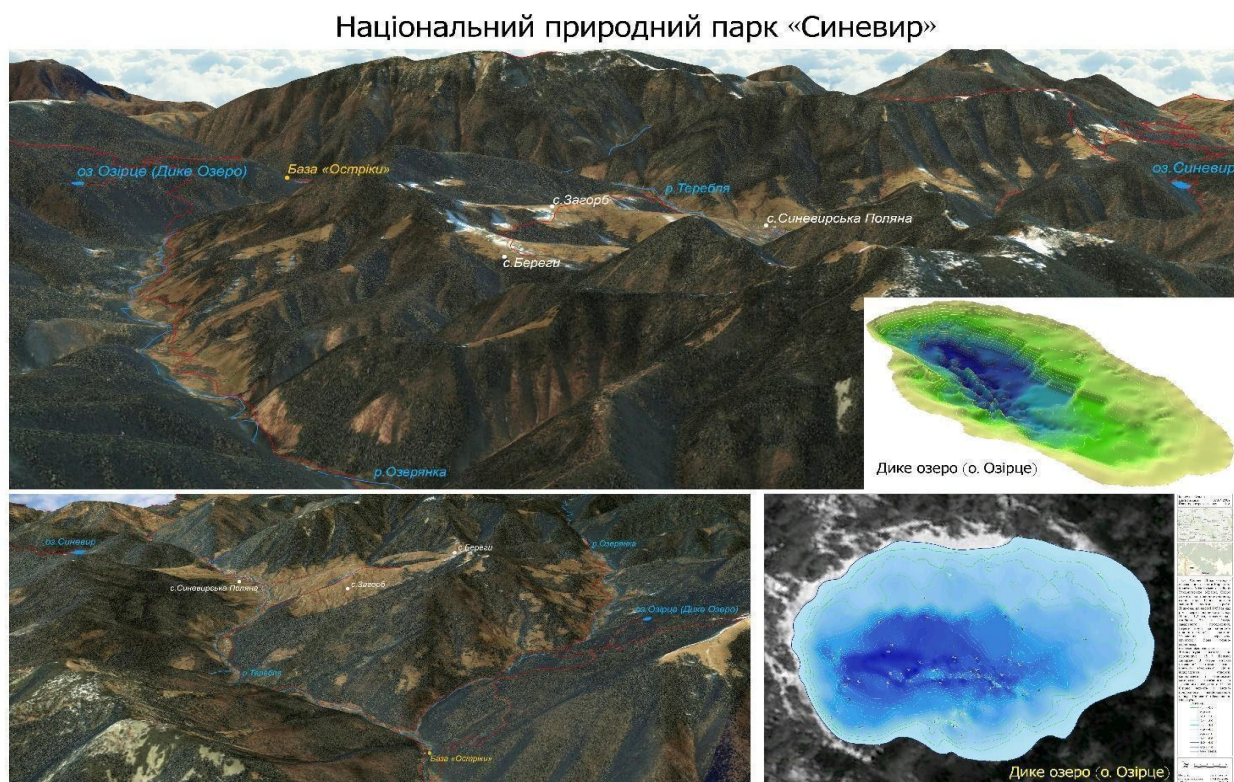


Рисунок 5.32. Картографічна модель території НПП «Синевир».
Батиметрична модель озера Дике (Озірце)

Для виконання програмних наукових досліджень НПП «Синевир», пов'язаних з виконанням Рамкової Конвенції, стосовно організації

моніторингу із запровадженням геоінформаційної системи на території парку, а також для досліджень Синевирського озера відповідно до Рамсарської Конвенції доцільне проведення батиметричної зйомки для картування глибин і рельєфу дна озера Синевир. Доцільним є також використання характеристик стану водойм та їх ресурсного потенціалу в якості інформаційної бази системи територіального гідроекологічного моніторингу. Інформаційно-аналітична база формується для розробки управлінських рішень та системи конструктивних оперативних заходів охорони і раціонального використання гірських водойм. Специфіка збереження і збалансованого використання водно-болотних екосистем Карпат, цінних для збереження біологічного різноманіття та забезпечення існування людини, диктує доцільність синтезу проблемно-орієнтованих геоінформаційних моделей конкретних екосистемних явищ в якості складових єдиної ГІС та бази даних Державного кадастру природно-заповідного фонду України. Функціонування зазначеної ГІС передбачає взаємний обмін інформацією між базами даних Державного земельного кадастру та Державного кадастру природно-заповідного фонду України, ведення їх на єдиній програмній базі, існування єдиної картографічної основи, єдині підходи до оцифрування та введення інформації, отриманої на основі комплексного моніторингу.

5.4. Гідроекосистеми на урбанізованих територіях

В контексті впровадження засад сталого розвитку в природокористуванні та управлінні екологічною безпекою регіонів України велике значення мають озерні (лімнологічні) природні комплекси, як важливі елементи системи водокористування, резервуари біорізноманіття, складові рекреаційної інфраструктури тощо. При цьому не має значення природне або штучне (кар'єри, ставки) походження лімнологічного об'єкту. Доведений факт, що велика кількість озер України підпадають під значне антропогенне навантаження, причому навіть ті, що входять до складу природно-заповідного фонду України (типовий приклад – озеро Світязь, що є ключовим об'єктом Шацького національного природного парку). За останні роки авторами були проведені дослідження екологічного стану ряду великих та середніх озер, що розташовані переважно в Українському Поліссі (Шацька група, Нобель, Люб'язь тощо), Карпатському та Подільському регіонах України, а також озер, розташованих в урбанізованих середовищах. При цьому, вважаємо, недостатньо уваги приділяється невеликим лімнологічним об'єктам, які мають велике значення для біорізноманіття та рекреаційної діяльності. Насамперед це стосується лімнологічних об'єктів на території великих міст. Унікальні

водні екосистеми штучних озер зазнають антропогенного впливу у зв'язку з господарським і рекреаційним використанням. Наслідком такої діяльності є активізація процесів евтрофування водойм. Зниження рівня ґрунтових вод внаслідок будівництва меліоративних систем відкритим способом спричиняє зниження водного дзеркала водойм. Антропогенізація зумовлює посилення прогрівання та евтрофікацію озер, спричиняє їхню ізоляцію та інтенсифікацію процесів старіння водойм. З огляду на це виникла гостра необхідність комплексних моніторингових досліджень та аналізу різноманітних аспектів діяльності в регіонах, що дасть змогу вибрати найбільш прийнятні варіанти управління водним господарством. Такий підхід забезпечує не лише отримання максимального еколого-економічного ефекту, а й передбачає врахування міжнародних положень раціонального природокористування та охорони довкілля. Моніторингові дослідження якості поверхневих вод базуються на врахуванні головних функцій гідроекосистем і прилеглих до них територій. Вагомою складовою цих досліджень, поряд з гідрооптичними даними космічного моніторингу, є з'ясування кількісних і якісних гідрологічних фізико-хімічних характеристик. Важливим завданням моніторингу лімносистем території досліджень є узагальнення нагромадженої інформації та створення теорії системи управління функціонуванням озерних екосистем. Сучасний підхід до дослідження озер, водосховищ, ставків (як водойм уповільненого водообміну) передбачає вивчення не лише динаміки їхнього існування у взаємозв'язку, а й процесів, що відбуваються на водозборі. В основу такого підходу покладено уявлення про водойму та її басейн як про локальну екосистему, що дає змогу по-новому пояснити природу водойм, встановити найбільш оптимальні варіанти використання, збереження й охорони їхніх ресурсів. Визначене завдання потребує комплексного розгляду й обґрунтування його з точки зору лімнологічних процесів. Антропогенний вплив на озера в урбанізованих умовах суттєво відрізняється за структурою та інтенсивністю від традиційних видів навантаження в сільській місцевості, де основними факторами є евтрофікація та зміна водного режиму внаслідок сільськогосподарської діяльності, зменшення біорізноманіття через неконтрольований вилов риби. Натомість в містах провідними є чотири джерела забруднення: житлово-комунальне господарство, автомобільний транспорт, відходи промислових підприємств, рекреаційна діяльність.

Експедиційні дослідження озера Вербне, м. Київ. Через своє географічне розташування в долині Дніпра, територія Києва нараховує значну кількість озер – переважно заплавного походження. В той же час інтенсивна урбанізація та розширення кордонів міста призводить до антропогенної трансформації заплавних озер та появи нових лімнологічних об'єктів,

створених переважно як кар'єри гідронамиву для видобутку піску. Так, зокрема, сформувалось найбільше озеро Києва – Алмазне (площа – 1,62 км²). Більшість заплавлених озер внаслідок гідронамиву також суттєво збільшили свою глибину і площу водного дзеркала – Тягле (1,35 км²), Вирлиця (1,1 км²).

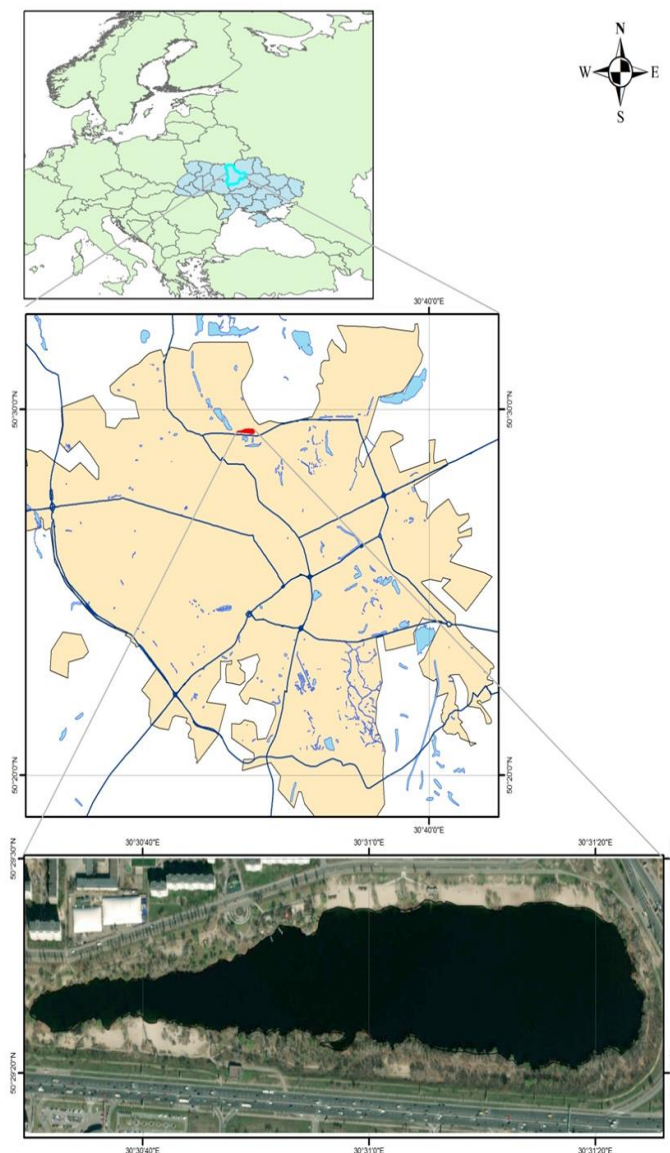


Рисунок 5.33. Озеро Вербне, м. Київ, космічний знімок «Landsat-8»

Найбільші озера міста зазнають суттєвого антропогенного навантаження за рахунок розташування поблизу них промислових підприємств (ТЕЦ-6, сміттєспалювальний завод «Енергія»), а також ключового об'єкта житлово-комунального господарства столиці – Бортницької станції аерації, яка в останні роки знаходиться в аварійному стані, що в будь-який момент може призвести до техногенної катастрофи.

Проведено попередні дослідження одного з лімнологічних об'єктів антропогенного походження – озера Вербне (площа – 0,16 км²), що було

створене в 1960-х роках як класичний кар'єр гідронамиву, пісок з якого використовувався в будівництві житлового масиву Оболонь. Озеро розташоване в заплаві Дніпра (400 м до берегової лінії), оточене житловою забудовою та з південної сторони – однією з найнапруженіших автомагістралей Києва – проспектом Степана Бандери (рис. 5.33). Також представлено дослідження іншого з лімнологічних об'єктів антропогенного походження, а саме озера Вербне у місті Києві. Зараз озеро Вербне є місцевим природоохоронним об'єктом – іхтіологічним заповідником площею 31,8 га.

Особливості геоморфологічної будови та основні морфолого-морфометричні характеристики озера Вербне, м. Київ. Озеро знаходиться в північній частині Києва, у південно-східній частині житлового масиву Оболонь, між проспектом Степана Бандери, вулицею Приозерною та проспектом Володимира Івасюка. Озеро, ймовірно, є відокремленою секцією колишнього русла річки Почайна. Уздовж її давнього русла зараз є низка озер із загальною назвою Опечень. Лімнологічна система озера Вербне розглядається як приклад комплексного застосування можливостей дистанційного зондування урбанізованих водойм. Північний берег озера – пологий пляж, південний берег піднятий над рівнем поверхні води на 1,0–1,5 м. З південного боку озеро було частково заповнене під час будівництва мікрорайону, тому його площа дещо зменшилася. Озеро має приплив поверхневих і ґрунтових вод, потік здійснюється шляхом фільтрації води в руслі озера. Озеро використовується як водозабір для стоку поверхневих та підземних вод. Тут є організовані та неорганізовані пляжі, здійснюється активне аматорське рибальство. Джерелами забруднення вод є лише поверхневий стік з водозбірної зони (промисловий стік відсутній), а також рекреація. Морфометричні характеристики визначаються з батиметричних або гіпсометричних карт. Використання інформаційно-аналітичних технологій забезпечує оцінку динаміки морфометричних характеристик та просторового розподілу таких досліджуваних інтегральних гідроекологічних параметрів, як форма та периметр прибережної смуги [15]. За допомогою технологій ехолокації вчені Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України побудували батиметричні карти акваторії озера Вербне (рис. 5.34). За результатами батиметрії була визначена максимальна глибина водойми – 14,8 м.

Під час дослідження були комплексно використані дані космічного моніторингу для адекватної оцінки стану гідроекосистем [26]. Розроблені технології отримання екологічної інформації зі супутникових знімків різних параметрів дають представлення про температурні, гідрохімічні, гідробіологічні характеристики водних об'єктів. Поєднання отриманих даних

з результатами польових досліджень акваторій та прибережної зони надало можливість сформувати базу просторово-розподілених даних для оптимізації прийняття рішень у сфері екологічного управління.

Визначено, що рельєф дна є типовим для кар'єру гідронамиву, неподалік берегової лінії виділяються 1-2 тераси, які різко обриваються на глибину 4–8 м. Глибина озера в його центральній частині збільшується із заходу на схід пропорційно збільшенню ширини водойми (рис. 5.34–5.36).

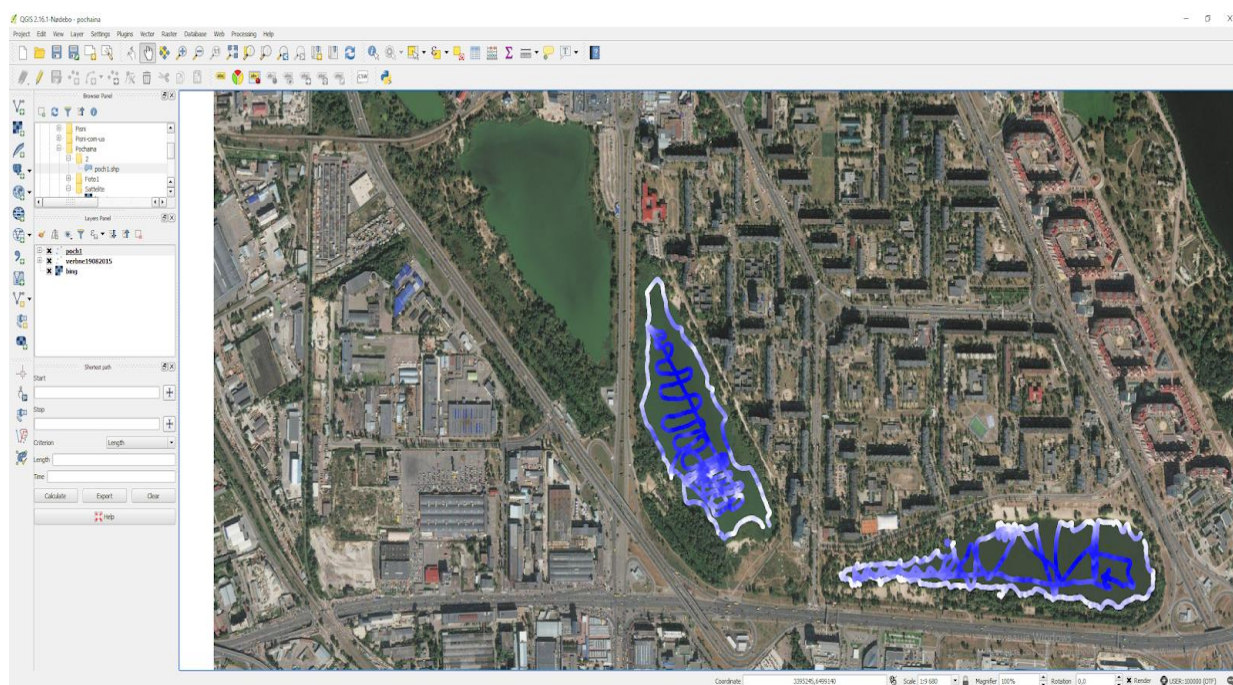


Рисунок 5.34. Акваторії озер Вербне та Йорданське у м. Києві в структурі урбанізованого ландшафту

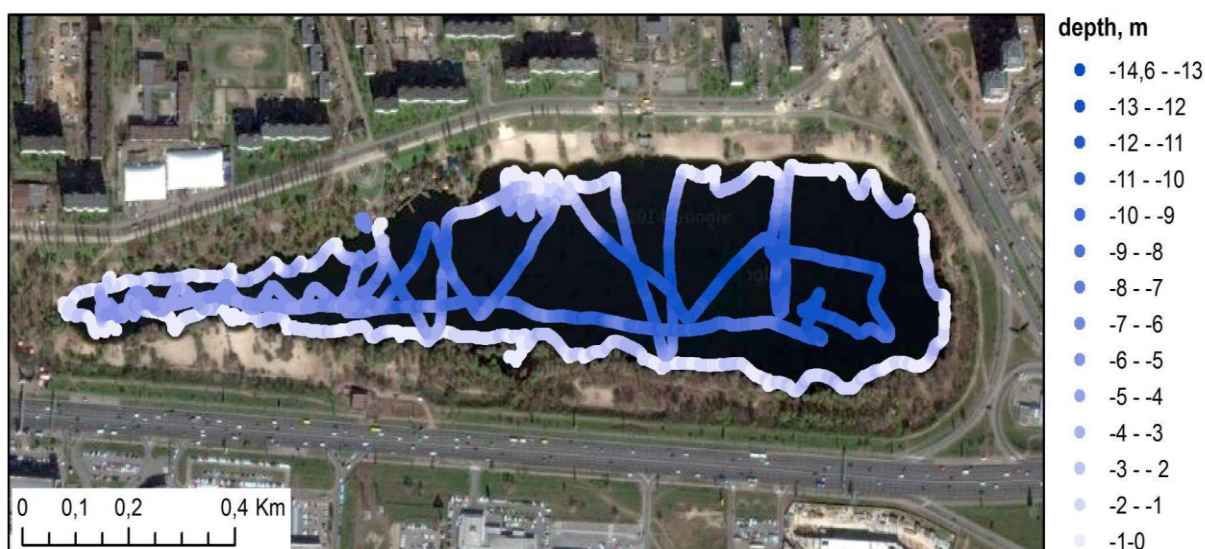


Рисунок 5.35. Батиметрія озера Вербне, м. Київ

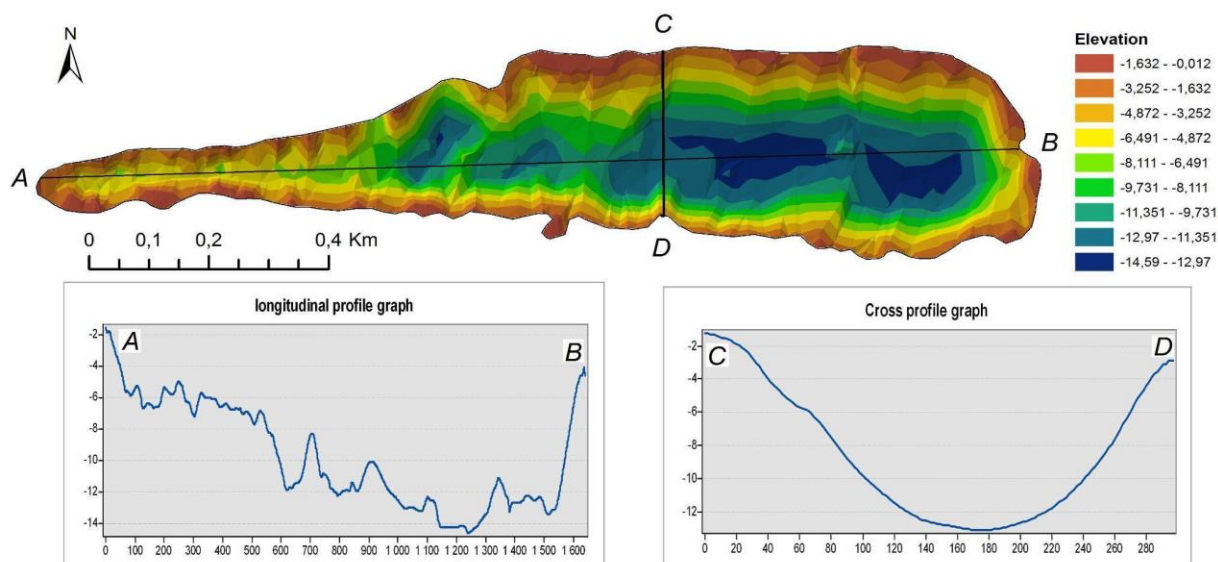


Рисунок 5.36. 3D-моделі акваторії озера Вербне

Використання геоінформаційних технологій розглядається з точки зору системного підходу, який включає: збір, обробку та формалізацію інформації про стан урбанізованої лімнологічної системи, накопичення та обробку даних, їх інтерпретацію у графічній формі на електронних картах. В даний час існує багато варіантів програмного забезпечення різних рівнів для дистанційної обробки даних та зображень, починаючи від розповсюджених безкоштовних до дорогих високопрофесійних. Це дозволяє реалізувати широкий спектр обробки, візуалізації, аналізу та використання географічної інформації. Для обробки та інтерпретації даних дистанційного зондування використовувалися пакети програм Erdas Imagine, ArcGIS 9.3 та QGIS. Пакети побудовані за ієрархічним принципом модуля і рішення, ефективність якого залежить від вимог користувачів до процесу обробки зображень [18]. Вищезазначені інструменти програмних продуктів були залучені до роботи із супутниковими знімками під час обстеження озера Вербне м. Києва.

Експедиційні дослідження Тернопільського ставу, м. Тернопіль. Місто Тернопіль лежить по обидва боки р. Серет – лівої притоки р. Дністер. Довжина Серету становить 218 км. Це найдовша річка із притоків Дністра в межах області, що бере початок біля с. Ратищі. В районі м. Тернополя долина річки коритоподібна з крутим правим схилом (рис. 5.37, 5.38). Ширина русла досягає 10 м, швидкість течії – 0,6 м/с. На південь від міста долина р. Серет досягає ширини 1,2 км. Вона заболочена і важкопрохідна. За греблею і поблизу приміського с. Петрикова прокладено нове рукотворне випрямлене русло. Гідрологічний режим річки пов'язаний із джерелами живлення і залежить від пори року. Весняне водопілля починається в першій половині березня і триває близько місяця. Висота рівня повені становить 0,7–2 м над нульовою

позначкою, але нерідко вона досягала максимальної позначки у 3,5 м і вище. Низькі рівні спостерігаються влітку і взимку. У літні місяці, особливо в червні – липні, коли випадає максимум опадів, рівень води у річці на кілька днів піднімається. Взимку річка не замерзає. В дуже холодні зими – замерзає, але з великою кількістю ополонів.

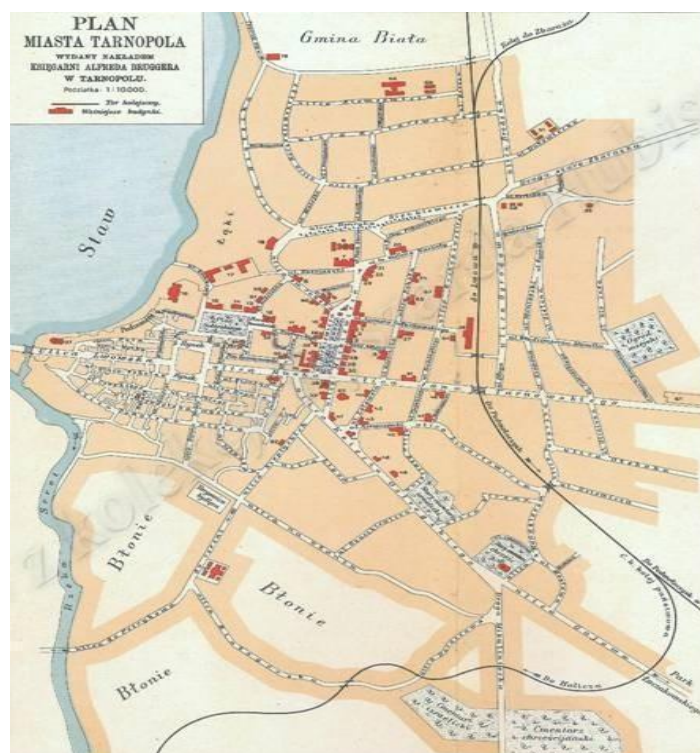


Рисунок 5.37. План м. Тернополя (топографічна карта 1908 р.)

Особливості геоморфологічної будови та основні морфолого-морфометричні характеристики озера. Тернопільський став штучно створений на р. Серет у західній частині міста і має площу 290 га. Його ширина досягає близько 1 км, а довжина – 3,5 км. Початком закладення ставу вважається XVI ст. На рисунку 3.22 відображено план міста Тернополя 1908 року. Історичні дані свідчать, що в пізніший період прилеглі до міста території були затоплені водою, таким чином Тернопільський став набув сучасних форм (рис. 5.38).

Став утримує дамба з мостом-греблею, по якій проходить автомагістраль, що з'єднує центр міста із Загребеллям. У верхів'ях ставу між с. Білою та Пронятином прокладена друга дамба, за якою знаходиться Сіретське болото площею 740 га.

Для дослідження вмісту Cu, Cd, Mn, Ni, Pb, Cr, Zn у воді, прибережному мулі, ґрунтах та водоростях відбирали зразки складових гідроекосистеми в 5 різних місцях Тернопільського ставу: 1 – біля міського пляжу; 2 – поблизу автомобільної дороги; 3 – біля заплави р. Серет (фільтр на шляху міграції

елементів); 4 – на низинній ділянці ставу (надходження техногенних викидів зі стоком, із річкової води, з атмосферних опадів); 5 – на ділянках заболоченого схилу (постійне обводнення).

У 2013–2014 роках проведено експедиційні дослідження на території Тернопільського ставу, в ході яких здійснено вимірювання глибини та рельєфу дна.

Екосистеми гідроморфного комплексу Тернопільського ставу зазнають антропогенного впливу у зв'язку з господарським і рекреаційним використанням. Будівництво меліоративних систем відкритим способом спричинило зниження водного дзеркала водойм.

Антропогенізація зумовлює посилення прогрівання та евтрофікацію озера, спричиняє його ізоляцію та інтенсифікацію процесів старіння. Тому необхідно проводити комплексні моніторингові дослідження, що дасть змогу вибрати найбільш прийнятні варіанти управління водним господарством. Завданням моніторингу лімносистем природоохоронних територій є збір та надання наукової інформації про кількісні і якісні гідрологічні фізико-хімічні характеристики озерних екосистем. Дослідження Тернопільського ставу передбачає вивчення динаміки їхнього існування та процесів, що відбуваються на водозборі (рис. 5.38). Це дає змогу по-новому пояснити природу водойм, встановити найбільш оптимальні варіанти використання, збереження й охорони ресурсів з точки зору лімнологічних процесів.

Дослідження проводились ехолотом-картплоттером LOWRANCE LMS-527C DF, що має дисплей підвищеної яскравості з роздільною здатністю 480x480 пікселів, діагоналлю екрана 5, 16-бітною колірною палітрою з 65 536 кольорів.

Виконані ехолотні вимірювання шляхом автоматичного запису лог-файлу з наступною обробкою в ArcGIS, та побудовано 3D-моделі глибин в модулі розширення 3D Analyst.

Результати з визначення глибини за даними ДЗЗ довели, що при використанні знімка з космічного апарату «WorldView-2» була отримана більш детальна карта глибин. Перетворення відносних глибин в абсолютні значення здійснювалися з використанням опорних точок, які відбиралися за допомогою ехолота. Це дозволило отримати дані для побудови карти глибин і тривимірної моделі Тернопільського ставу (рис. 5.39).

На основі отриманих даних ехолотного профілювання складена батиметрична схема. Таким чином, використання космічних знімків надало змогу оперативно і об'єктивно отримати характеристики досліджувальних водних об'єктів, а також достовірну, науково обґрунтовану інформацію про реальний стан екосистеми в цілому.

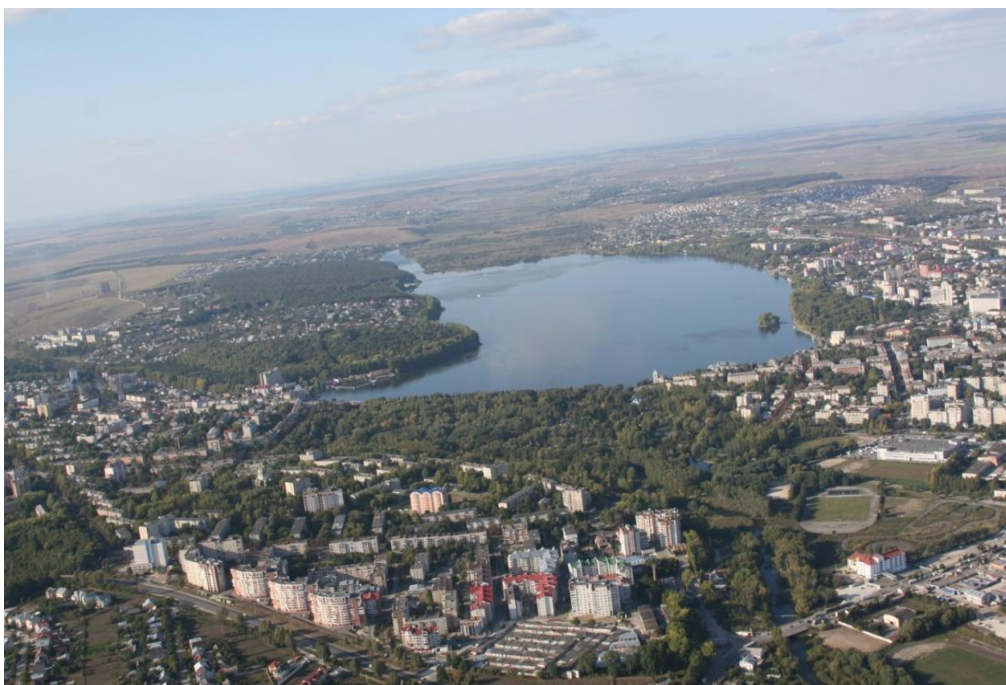


Рисунок 5.38. Тернопільський став, фото з квадрокоптера

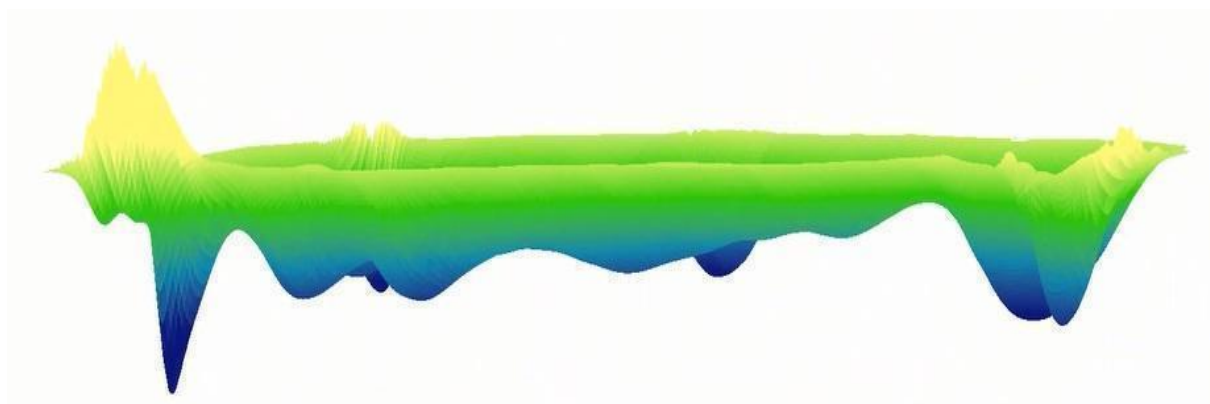


Рисунок 5.39. Прототип макету векторної електронної карти глибин Тернопільського ставу

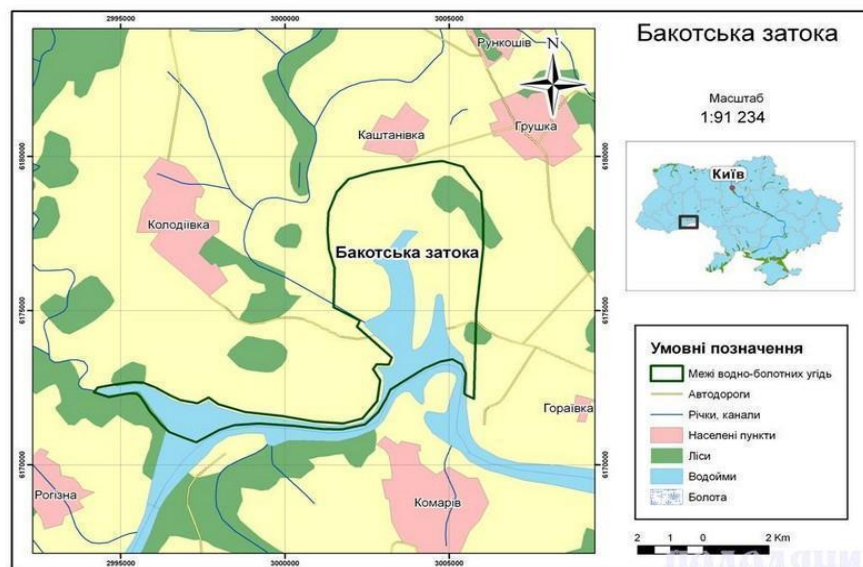
Застосовуючи алгоритм аналізу космознімків профільно-діаграмним методом, виявлену аномалію водного дзеркала Тернопільського ставу ідентифіковано як «острів» водної рослинності, що дає змогу оцінити її вегетаційну і просторову динаміку.

5.5. Експедиційні дослідження Дністровського каньйону

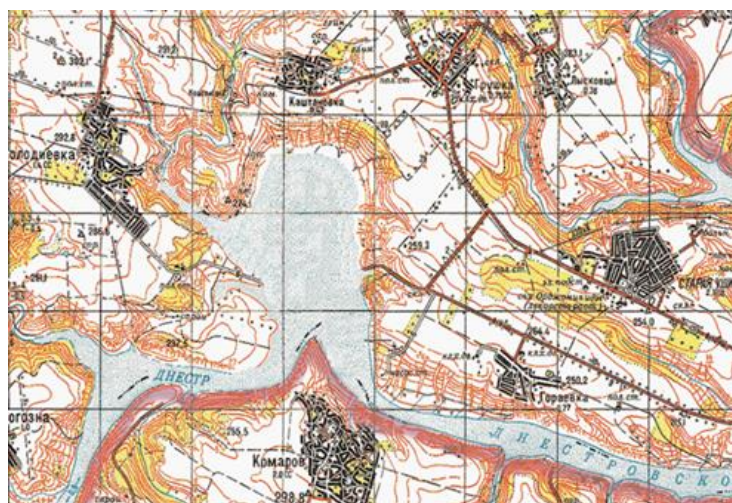
Співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України в літній та осінній період 2018 року проводились експедиційні дослідження водних об'єктів Національного природного парку «Подільські Товтри», а саме затоки «Бакота», здійснення батиметричної зйомки та дослідження екологічного стану прилеглих

територій. Затока виникла у 1981 році після затоплення низинної ділянки р. Дністер у процесі заповнення Дністровського водосховища (рис 5.40). Назва затоки походить від затопленого села Бакота.

Мета експедиційних досліджень – збір первинних даних на території НПП «Подільські Товтри» для забезпечення послідовності і безперервності досліджень екосистеми Дніпровського каньйону з використанням сучасних методів і технологій тематичного дешифрування космічних знімків водних об'єктів (рис. 5.41), побудова батиметричних карт водних об'єктів, як джерел комплексного водокористування.



а) Карта 1989 р.



б) Карта генштабу

Рисунок 5.40. Аналіз різночасових картографічних даних. Фрагменти топографічних карт зниклого острівця та прямолінійного русла р. Дністер у 1989 та 2015 рр.



Рисунок 5.41. Космічний знімок Lansad території дослідження р. Дністер та затоки «Бакота»

Бакотська затока – водно-болотне угіддя міжнародного значення, що охороняється згідно з Рамсарською конвенцією. Збереження природних цінностей угіддя забезпечується його входженням до складу Національного природного парку «Подільські Товтри». Територія національного природного парку належить до Західно-Подільської височинної області. Окрасою цієї території є Товтровий кряж, або «Товтри», який являє собою скелясте дугоподібне пасмо Західного Поділля. Довжина Товтр сягає 250 км (80 км у межах національного парку), ширина – 5–6 км, а абсолютні висоти коливаються від 400 до 436 м. Товтри являють собою бар’єрний риф міоценового моря, складений мшанковими, мембранопоровими та черепашковими вапняками. Аналогів їм у світі немає.

Відповідно до Рамсарської конвенції, специфіка збереження і збалансованого використання водно-болотних екосистем, цінних для збереження біологічного різноманіття та забезпечення існування людини, диктує доцільність синтезу проблемно-орієнтованих геоінформаційних моделей в якості складових бази даних Державного кадастру природно-заповідного фонду України. Також актуальним завданням є оцінка стану екосистем за такими параметрами, як забруднення земельних ресурсів та якість поверхневих і підземних вод, що є важливою складовою водозабезпечення території України.

Дослідження затоки «Бакота» було розпочате з вивчення водозбірної площі. Бакота – це затока р. Дністер. Висота над рівнем моря: мінімальна – 114 м, середня – 117,5 м, максимальна – 121 м. Площа – 1 590 га. Розташована

в каньйоні річки і репрезентує типові для басейну верхнього Дністра природні комплекси рослинності і тваринного світу.

Обстеження берегової лінії затоки «Бакота» проведено при її обході по всьому периметру на човні. При цьому були досліджені обриси і форми берегів, склад берегів, наявність терасових виступів і берегових валів. По периметру берегової лінії водного об'єкта зафіксовані вапняки, мергелі, пісковики, сланці, а також граніти та гнейси, що перекриваються лесами. Відзначається близьким до поверхні заляганням порід кристалічного фундаменту. Поверхня берегів – це переважно підвищена полого-хвиляста лесова рівнина. Ефективність контактних методів моніторингу поверхневих вод може бути підвищена за рахунок застосування технологій дистанційного зондування Землі з космосу.

Для виконання досліджень було отримано космічні знімки Sentinel (14.08.2018), MODIS, LANDSAT, QUICK BIRD тощо, просторово-роздільна здатність яких – від декількох дециметрів до декількох сотень метрів і які мають значний потенціал у сенсі їх використання для вивчення багаторічної динаміки природних комплексів [24–27].

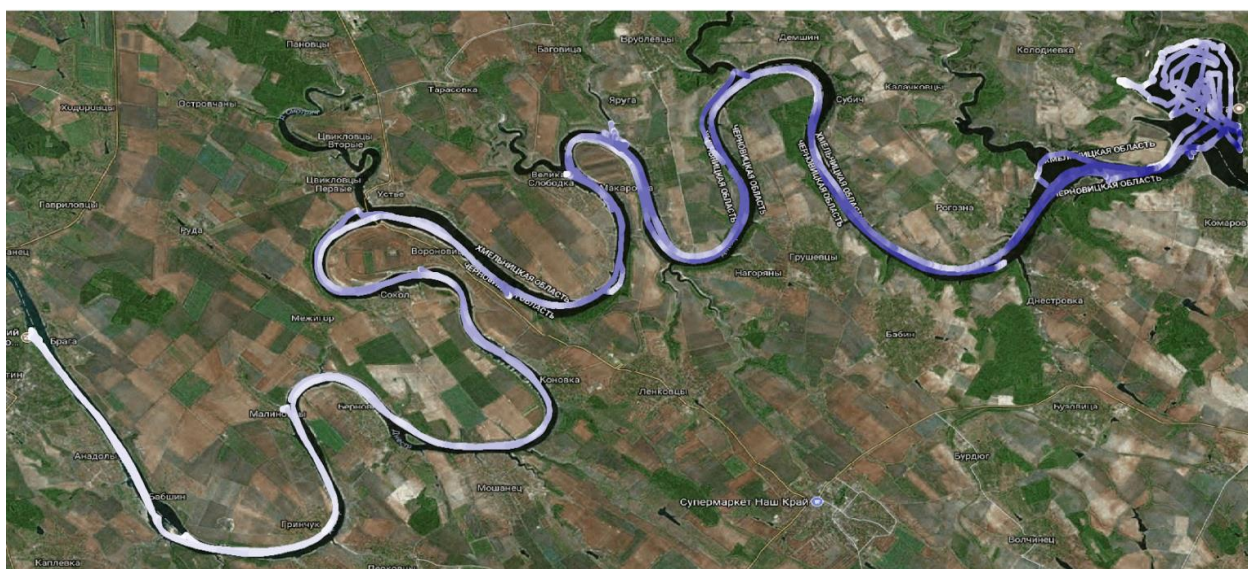


Рисунок 5.42. Опрацьований трек проміру глибин р. Дністер та затоки «Бакота»

Для досліджень використовувались як архіви космічних знімків супутників, так і знімки безпосередньо за період проведення польових досліджень. При цьому використано функціонал сучасних технологій геоінформаційних систем, що надають потужні інструменти багатовимірного просторового аналізу впливовості різних факторів забруднення (рис. 5.42).

При проведенні досліджень поверхневих вод р. Дністер та затоки «Бакота» враховано низку гідрофізичних показників: межі коливання температури, кольоровості, прозорості, каламутності (зважені частинки). В цілому хімічні характеристики досліджуваних вод містять загальні показники й показники вмісту неорганічних речовин: величину рН, суму іонів (мінералізацію), жорсткість, вміст окремих елементів сольового та біогенного складу.

Комплекс показників екологічної класифікації якості поверхневих вод містить загальні й специфічні показники, що характеризують ступінь забрудненості водного об'єкта. Вихідними даними для екологічної оцінки якості води є насамперед зведені й розрізнені результати систематичного контролю за якістю води у водних об'єктах України, зібрані й оброблені мережею пунктів спостережень і лабораторій систем Мінприроди, Держгідрометслужби та Держводгоспу України. Загальні показники, до яких належать показники сольового складу й трофо-сапробності вод (еколого-санітарні), характеризують звичайні властиві водним екосистемам інгредієнти, концентрація яких може змінюватись під впливом господарської діяльності. Специфічні показники характеризують вміст у воді забруднюючих речовин токсичної й радіаційної дії. При обстеженні р. Дністер на території НПП «Подільські Товтри» виявлено інтенсивний шлейф скидів стічних вод, що підтверджено інтенсивним процесом евтрофікації та підвищеними показниками рівня Ph і кислотності (рис. 5.43).



Рисунок 5.43. Місце скиду відходів на р. Дністер (НПП «Подільські Товтри»), зафіксоване при натурних дослідженнях та на космічному знімку з супутника Sentinel від 14.08.2018 (роздільна здатність – 3 м)

Методика проведення ехолокаційної батиметрії описана авторами в розділах 2 та 4. За результатами проведення зйомки синтезуються картографічні моделі дна, створюються батиметричні схеми і гіпсометричні

моделі. За даними вимірювання були закладені основи до розробки батиметричної карти та 3D-моделі глибин затоки «Бакота» (рис. 5.44–5.45).

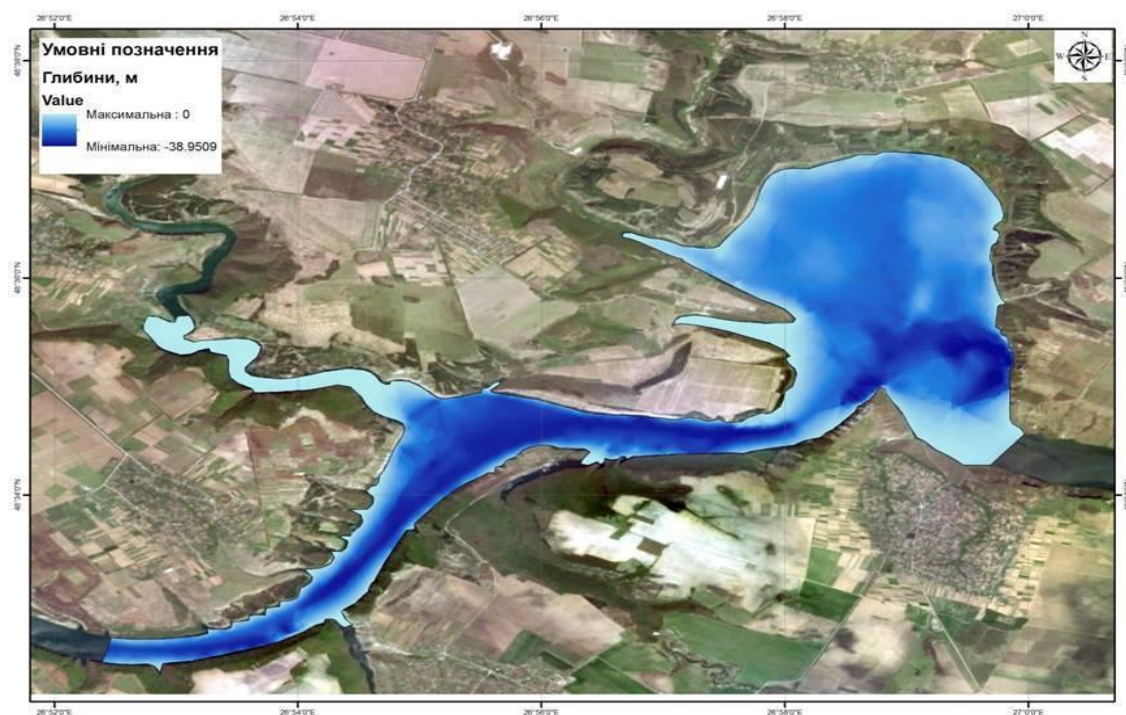


Рисунок 5.44. Результати обробки батиметричних даних, які отримані за допомогою методу гідролокації затоки «Бакота»

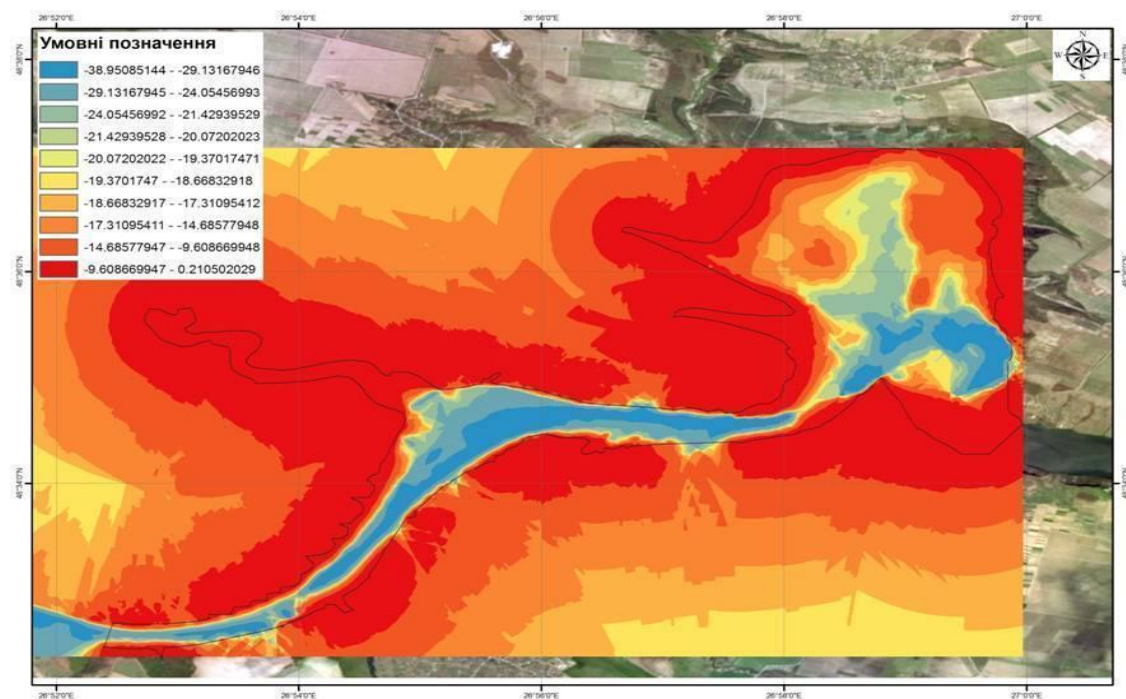


Рисунок 5.45. Результати обробки даних, які отримані за допомогою методу гідролокації затоки «Бакота» з рельєфом прибережної території

Здійснено просторову прив'язку вимірювань, що дає змогу проводити коректне поповнення баз даних та подання результатів вимірювань у форматі, придатному для використання у ГІС.



Рисунок 5.46. Відбір проб донних відкладів



Рисунок 5.47. Відбір проб донних відкладів

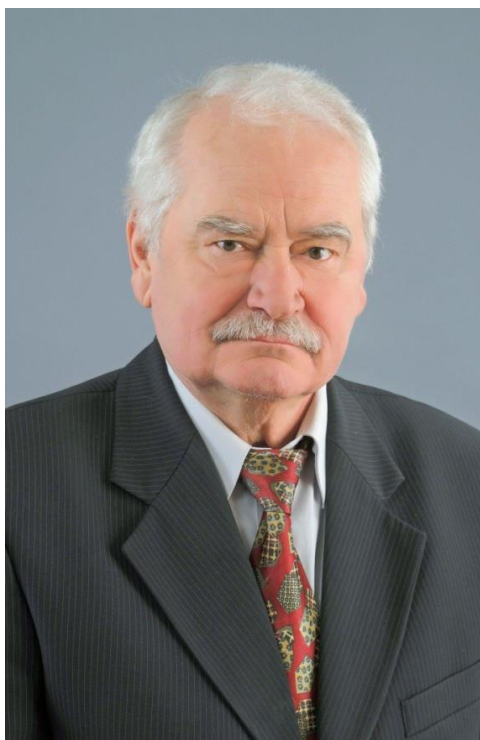
Здійснено первинне вимірювання глибини, рельєфу дна та структури донних відкладів затоки «Бакота» (рис. 5.46–5.47). Особливу увагу приділено математичному моделюванню, побудові 3D-моделей досліджуваної території для прогнозування небезпечних процесів, що відбуваються в навколишньому природному середовищі, прогнозу тенденцій і темпів змін екологічного стану, а також створення бази геоінформаційної системи оцінки рівня техногенних забруднень для на підтримки рішень з питань охорони і раціонального використання природних ресурсів. За результатами первинних досліджень та проведеної ехолокації розроблено електронні батиметричні карти та 3D-моделі глибин затоки «Бакота», що дозволить створити безпечні умови судноплавства. Встановлено, що моніторинг глибин є важливою задачею для розв’язання проблем, пов’язаних з природоохоронними функціями водно-болотних угідь, що мають міжнародне значення, і прилеглих територій в контексті прогнозованого впливу запланованого будівництва каскаду малих ГЕС в межах Дністровського каньйону. При цьому від затоплень і підтоплень можуть постраждати не лише природоохоронні об’єкти з унікальними екосистемами, що підлягають захисту, а й численні поселення, що тяжіють до Дністра. Також регіональний підйом рівня води в долині р. Дністер призведе до підтоплення земель рівнинного лівобережжя з погіршенням якості ґрунтових вод як головного джерела питно-господарського водопостачання. У ході досліджень виявлено перспективи для подальших досліджень та коректури карт, в тому числі за допомогою даних ДЗЗ і з використанням інструментарію ГІС-технологій [28–32].

5.6. Засновники та організатори експедиційних досліджень

Започатковано експедиційні дослідження директором Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України професором, членом-кореспондентом НАНУ Трофимчуком О.М. Науковими керівниками експедиційних досліджень були професор, доктор технічних наук Красовський Г.Я. та доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу досліджень навколишнього середовища Радчук В.В. Під їхнім керівництвом розглянуто важливі проблеми оцінки масштабів, тенденцій та інтенсивності змін стану і режиму функціонування річкових систем, впливу цих змін на ризик небезпечних природних процесів та обґрунтування комплексу заходів для мінімізації їхнього негативного впливу на довкілля і людину, а саме:

– обґрунтування схеми та алгоритмів використання можливостей ГІС у дослідженнях річкових систем, розробка відповідної структури ГІС;

- аналіз чинників функціонування річкових систем, їхнього впливу на стік води, розвиток ерозійно-аккумулятивних процесів у руслах, деградацію річок, ризик вияву небезпечних процесів;
- аналіз структури річкових систем, горизонтальних і вертикальних деформацій русел, визначення тенденцій, масштабів та інтенсивності цих процесів;
- геоінформаційний аналіз багаторічної динаміки стоку води і наносів, масштабів і тенденцій їхніх змін, визначення причин цих змін та оцінка їхніх еколого-географічних наслідків;
- обґрунтування заходів з оптимізації екологічного стану геосистем, попередження і регулювання розвитку небезпечних процесів.



Красовський Григорій Якович (06.08.1946–18.09.2018) – видатний український вчений, доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки, почесний працівник космічної галузі України.

Народився в с. Старий Мерчик Харківської області, Україна. У 1969 р. закінчив Харківський інститут радіоелектроніки за спеціальністю «радіофізик». У 1974 р. здобув ступінь кандидата фізико-математичних наук, 1992 р. – доктор технічних наук, 2001 рік – професор. Він був одним із перших дослідників питань вивчення екологічних показників довкілля шляхом аналізу даних ДЗЗ на радянському та пострадянському просторі (тема його докторської дисертації – «Моделі інформаційного забезпечення водоохоронних рішень на базі аерокосмічного моніторингу»). З 1975 по 1997 р. Г.Я. Красовський очолював лабораторію космічного моніторингу поверхневих вод України Наукового центру охорони вод. З 1997 по 2001 рік очолював Північно-східну філію Державного наукового виробничого центру «Природа» у місті Харкові. З 2001 по 2008 рік – головний науковий співробітник Українського інституту досліджень навколишнього середовища і ресурсів при Раді національної безпеки і оборони України. З 2008 року – професор кафедри виробництва радіоелектроніки систем літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». 01.11.2016 професор Красовський Г.Я.

заснував та очолив кафедру Геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», проводив плідну педагогічну та навчально-методичну роботу. За час наукової та педагогічної роботи він підготував безліч професіоналів, багато з яких також обрали для себе науковий шлях.

Професором Красовським Г.Я. розроблені теоретичні основи космічного моніторингу складових навколишнього природного середовища, методи тематичного дешифрування космічних знімків, картографічного та алгоритмічного забезпечення використання природно-ресурсної інформації в завданнях управління екологічною безпекою, природокористуванням, ресурсами та заходами в надзвичайних ситуаціях на обласному рівні. Ці напрацювання були втілені в проекти з синтезу геоінформаційних систем управління охороною навколишнього природного середовища низки областей України. На основі цих систем були розроблені і видані масовими накладами екологічні карти. Ці карти широко використовуються в закладах освіти, громадських організаціях екологічного спрямування, місцевих органах виконавчої влади, знаходять попит серед пересічних громадян, яким небайдужі екологічні проблеми довкілля. Красовський Г.Я. запропонував теорію космічного моніторингу складових довкілля.

За ініціативою професора Г.Я. Красовського та за його активної особистої участі проведено ряд експедиційних досліджень лімнологічних систем різного геологічного походження, динаміки евтрофікації та стратегічних запасів прісної води, побудови моделей глибин та рельєфу озер з використанням натурних полігоно-калібрувальних робіт на основі технологій дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем. В період 2009–2018 рр. – засновник, науково-ідейний наставник та очільник експедиційних досліджень озер природного і штучного походження території України спільно з науковцями Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Григорій Красовський запропонував та особисто очолював експедиційні дослідження більшості найзначніших лімнологічних екосистем України (Кременчуцьке водосховище, озера Синевир, Озирце, Світязь, Нобель, Біле, Люб'язь, Вербне, затока «Бакота», Дністровський каньйон, Тернопільський став тощо). При проведенні досліджень запропоновані нові підходи, що дозволяють виявити особливості та закономірності процесів антропогенного впливу на екологічний стан лімнологічних систем. Узагальнена оцінка результатів досліджень лімнологічних систем, що значно підвищить інформативність даних для управління озерними екосистемами на основі комплексного використання

актуальних інформаційно-аналітичних інструментів і технологій. Результати вищевказаних проведених натурних досліджень та поєднання отриманих даних з даними ДЗЗ, інтеграція результатів в геоінформаційні системи наведені в даній монографії.

Г.Я. Красовський є автором та співавтором понад 200 наукових праць, у тому числі 8 монографій. У 2013 році Г.Я. Красовський у складі авторського колективу був удостоєний Державної премії України в галузі науки і техніки за цикл наукових праць «Використання природних ресурсів України в умовах екологічних обмежень». Є переможцем XVI обласного конкурсу «Вища школа Харківщини – кращі імена» в номінації «Науковець, відмічений відзнаками Національної академії наук України і Малої академії наук України» («За особистий вагомий внесок у розвиток науки і освіти» – «Франко Іван Якович» – 2016 р., Юрій Кондратюк (Олександр Шаргей) – 2017 р.).



Радчук Валентин Васильович
(29.07.1949–11.02.2019) – доктор геологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділом досліджень навколишнього середовища Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (2005–2019 рр.), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2013 р.). Науковий керівник та співорганізатор експедиційних досліджень лімнологічних систем різного геологічного походження, динаміки евтрофікації та стратегічних запасів

прісної води, побудови моделі глибин та рельєфу озер з використанням натурних полігоно-калібрувальних робіт на основі технологій дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем.

Радчук Валентин Васильович народився в смт. Стара Синява Старо-Синявського району Хмельницької області. В 1972 р. закінчив Одеський державний університет ім. І.І. Мечникова за спеціальністю «Геологія і розвідка нафтових та газових родовищ – морська геологія». З 1972 по 1991 р. В.В. Радчук працював в Інституті геохімії і фізики мінералів АН УРСР. У 1981 р. захистив кандидатську дисертацію з теми «Експериментальне та термодинамічне дослідження умов метаморфізму сидеритових залозистих кварцитів» за спеціальністю 04.00.02 – геохімія. В 2011 р. захистив дисертаційну роботу на ступінь доктора геологічних наук «Структура та

властивості радіаційно-активованих центрів в кварці та емалі зубів у зв'язку з ретроспективною дозиметрією людини та довкілля» за спеціальністю 04.00.20 – мінералогія, кристалографія – у Львівському національному університеті ім. І. Франка. В 2005 році йому присвоєно звання старшого наукового співробітника зі спеціальності «геохімія». Починаючи з 1987 року, В.В. Радчук працював за науковою тематикою, пов'язаною з проблемами, викликаними Чорнобильською катастрофою. З квітня 1991 року обіймав посаду помічника міністра Державного комітету Чорнобилю України, а згодом – начальника науково-технічного управління Мінчорнобиля України. За ініціативою та безпосередньою участю В.В. Радчука було організовано ряд міжнародних науково-дослідних проектів, пов'язаних з вивченням наслідків аварії на ЧАЕС. В рамках цих проектів В.В. Радчук особисто проводив наукові дослідження, а також виконував обов'язки національного координатора робіт від України. Серед таких проектів насамперед слід відзначити проект «Retrospective dosimetry and dose reconstruction: Experimental collaboration project No 10», у виконанні якого брали участь представники Великої Британії, Німеччини, Сполучених Штатів Америки, України, Росії та Білорусі. В.В. Радчук входив до складу Колегії, а також науково-технічної та експертної ради Мінчорнобилю України. Вчений проводив велику громадську роботу. Крім перерахованих вище результатів, особливу значимість і актуальність мають наукові праці В.В. Радчука, присвячені геолого-геохімічним та геофізичним дослідженням дна Чорного моря, розробці технологій космічного моніторингу територіальних вод і морської економічної зони України на Азовському та Чорному морях, виконані в рамках комплексних програм наукових досліджень НАН України. Радчук В.В. як один із засновників та науковий керівник очолював експедиційні дослідження озер природного і штучного походження в період 2009–2018 рр. Ним здійснено низку досліджень більшості найзначніших лімнологічних екосистем України (Кременчуцьке водосховище, озера Синевир, Озірце, Світязь, Нобель, Біле, Люб'язь, Вербне, затока «Бакота», Дністровський каньйон, Тернопільський став тощо) в форматі наукових експедицій. В рамках проведених робіт було здійснено аналіз науково-методологічних основ комплексного оцінювання інтенсивності та характеру техногенного та антропогенного впливу на стан лімноекосистем України. В результаті виконаних під керівництвом В.В. Радчука досліджень, було розроблено низку предметно-орієнтованих геоінформаційних систем, створено спеціалізований фонд космічних знімків акваторій Азовського та Чорного морів і приморських територій та озерних екосистем. В рамках організованих та проведених експедиційних робіт було здійснено аналіз науково-методологічних основ комплексного оцінювання інтенсивності та

характеру техногенного та антропогенного впливу на стан лімноекосистем України. При проведенні досліджень були запропоновані нові підходи, що дозволяють виявити особливості та закономірності процесів антропогенного впливу на екологічний стан лімнологічних систем, а також узагальнена оцінка результатів досліджень лімнологічних систем, що значно підвищить інформативність даних для управління озерними екосистемами на основі комплексного використання актуальних інформаційно-аналітичних інструментів і технологій.

Розроблено векторні карти глибин Азовського та Чорного морів та низки озер України. Синтезовані картографічні моделі просторово-часового розподілу забруднюючих речовин, що показують вплив природних і антропогенних чинників на екологічний стан територіальних вод України і відкривають принципово нові можливості моніторингу континентального шельфу і виключної (морської) економічної зони України. В. Радчук брав участь в роботі ІХ Української антарктичної експедиції та виконанні робіт з дослідження речовинного складу та фізичних параметрів кристалічних порід Антарктичного півострову з метою поглибленого вивчення геолого-геофізичних особливостей глибинної будови структур західної частини Антарктичного півострову, зокрема в районі архіпелагу Аргентинських островів (2004 р.). Результати наукових досліджень Радчука В.В. знайшли своє відображення у більш ніж 140 наукових працях, у тому числі 6 монографіях.

Державні нагороди та відомчі відзнаки науковця:

Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки за цикл наукових робіт «Використання природних ресурсів України в умовах екологічних обмежень», 2013 рік; Почесна грамота Держкомзв'язку України (наказ Держкомзв'язку від 12.11.2002 № 255-03/К); Почесна грамота Держкомзв'язку України (наказ Держкомзв'язку від 16.08.2004 № 148а-03/К); Подяка Президії НАН України за вагомий особистий науковий внесок в розвиток наукових досліджень з проблем екологічної безпеки, розробку і впровадження новітніх технологій її забезпечення, вивчення і збереження етнічної спадщини радіоактивно забруднених територій та з нагоди 25 річчя з дня Чорнобильської катастрофи (2011 р.).

ВИСНОВКИ

Розроблено наукові основи і принципи комплексної оцінки та прогнозування антропогенних та природних змін екологічного стану лімнологічних систем на базі сучасних технологій дистанційного зондування Землі з космосу і спеціалізованих геоінформаційних систем картографічного узагальнення даних космічного моніторингу і результатів наземних досліджень. Монографія присвячена розв'язанню важливої науково-практичної задачі виявлення закономірностей процесів антропогенного впливу на екологічний стан озер, вдосконаленню методики екологічного моніторингу лімнологічних систем з використанням методів ДЗЗ, коректним застосуванням методів батиметрії, побудови тривимірної моделі озер, а також дослідженню процесів евтрофікації лімносистем. Наведено результати експедиційних досліджень із застосуванням контактних методів для верифікації даних ДЗЗ, гідроакустичного вивчення донного рельєфу із застосуванням експериментального обладнання на будь-яких гідрологічних об'єктах. Було досліджено лімнологічні системи України, розташовані в регіоні Західного Полісся (Волинська, Рівненська області), регіоні Українських Карпат, Подільському регіоні України (Хмельницька, Чернівецька, Тернопільська обл.) та антропогенізовані лімнологічні об'єкти. Серед природних лімноекосистем Західного Полісся були досліджені озера Шацької групи (є утворюючим ядром Шацького національного природного парку, Волинська обл.); озера, що є складовими проточними для р. Прип'ять – Нобель, Омит, Люб'язь, (Волинська, Рівненська обл.); озеро Біле (Рівненський природний заповідник, Рівненська обл.). Досліджені гірські озера Українських Карпат – Синевир та Озірце (Синевирський національний природний парк, Закарпатська область). Лімноекосистеми Подільського регіону України – Дністровський каньйон в межах НПП «Подільські Товтри», водно-болотне угіддя міжнародного значення затока «Бакота». Урбанізовані лімнологічні об'єкти – Тернопільський став (м. Тернопіль), о. Вербне (м. Київ).

До основних наукових результатів слід віднести:

- змістовний аналіз науково-методологічних основ комплексного оцінювання інтенсивності та характеру техногенного та антропогенного впливу на стан лімноекосистем, на основі якого були обґрунтовані методи дослідження, що використані в роботі. Методи базуються на нових підходах до завдань комплексного аналізу даних контактних методів зондування і космічного моніторингу, тематичного дешифрування космічних знімків

водних об'єктів і інтерпретації отриманих при цьому картографічних моделей із залученням інструментів ГІС;

- на основі системного аналізу сучасного стану ДЗЗ/ГІС-технологій визначено склад інформаційних ресурсів екологічного моніторингу, визначено основні фактори антропогенного навантаження на низку лімнологічних екосистем регіонів Західного Полісся (Волинська, Рівненська області), Українських Карпат, Подільського регіону України (Хмельницька, Чернівецька, Тернопільська обл.) та лімнологічні об'єкти урбанізованих територій, встановлено тенденцію до інтенсифікації евтрофікаційних процесів в акваторіях;

- відпрацьовано методику гідроакустичного вивчення донного рельєфу озер, яка достатньо ефективна для морфолітогенетичного аналізу різних за походженням озерних улоговин, створено картографічні моделі техногенного та антропогенного навантаження на локальну лімнологічну систему з одночасним поєднанням контактних і дистанційних методів, проведено батиметричну зйомку та картування глибин і рельєфу дна досліджених озер з відображенням особливостей та основних параметрів функціонування лімнологічної екосистеми. За підсумками досліджень надані рекомендації щодо оптимальних форм управління екологічною безпекою прісних озер на основі аналізу динаміки евтрофікації лімнологічних систем;

- запропоновано новий підхід до підвищення ефективності екологічного моніторингу лімнологічних об'єктів, вдосконалено технології моніторингу динаміки водного режиму озер шляхом побудови батиметричних карт озер за результатами гідроакустичних вимірів та дешифрування космічних знімків;

- створено архів космічних знімків з космічних апаратів наявним блакитним «береговим» каналом (0,40–0,45 мкм) – «Landsat-8», «WorldView-2» та «WorldView-3» – які характеризуються оптимальними характеристиками просторової роздільної здатності і повторюваності відносно основних завдань геоecологічного моніторингу водних об'єктів України;

- вдосконалено інформаційні технології встановлення реальної просторової роздільної здатності методів дистанційного зондування Землі у видимому оптичному спектрі для лімнологічних систем; вперше побудовано 3D-моделі ряду лімнологічних систем (озера Світязь, Нобель, Омит, Синевир, Озірце, Люб'язь, Біле, Вербне);

- модифіковано контактний метод відбору донних відкладів шляхом створення і впровадження відповідного обладнання;

- розроблено комплекс програмних і технічних засобів, що забезпечує: отримання достовірної інформації в екологічних дослідженнях із застосуванням безпілотних літальних апаратів, передачу інформації в

інформаційно-керуючу систему в умовах апіорної невизначеності та комплексному моніторингу довкілля. Запропоновано моделі адаптивної передачі інформації на локальному та регіональному рівнях як поєднання інформаційно-вимірювальної та інформаційно-управляючої підсистем, які враховують можливість одночасної обробки даних автоматичних систем спостережень;

– розроблено електронний паспорт озер, наведено перелік методів біотестування та визначена логічна структура, на основі даних, зібраних під час проведення експедицій, створена інформаційна модель паспорту озера, при розробці якої застосовано метод онтологій та визначені правила побудови запитового підходу для формування інтерфейсу користувача для роботи з паспортом лімнологічного об'єкту через веб-інтерфейс. В паспорті реалізоване використання послідовного алгоритму для пошуку інформації.

Основні показники практичної значимості результатів, представлених у монографії, полягають в об'єктивності, достовірності і можливостях забезпечення своєчасності отриманої інформації про стан водних об'єктів України, їх охорону і раціональне використання на регіональному та національному рівнях. При цьому надзвичайно важлива особливість розроблених технологій – можливість проведення повторних незалежних експертиз отриманих даних. Результати досліджень використані в заходах з територіального екологічного управління, зокрема в низці природних заповідників та національних парків України. Отримані результати мають важливе значення для вирішення широкого кола фундаментальних та прикладних проблем, пов'язаних з моніторингом водних об'єктів України.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Розділ 1

1. Шевчук М.Й. Екологічний стан озерних екосистем та основні напрями його покращення. Вісник Волинського державного ун-ту ім. Лесі Українки. Луцьк, 2007. №11. Ч. 2. С. 131–141
2. Койнова І. Антропізація ландшафтних систем західної частини Волинського Полісся. Вісник Львівського ун-ту. Львів, 2000. №26. С. 30–34.
3. Водний кодекс України від 06.06.1995. №213/95-ВР. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.03.2020)
4. «Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року» URL: <https://www.ua.undp.org>
5. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30 липня 2021 року «Про стан водних ресурсів України»: Указ Президента України від 13 серпня 2021 року №357/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/357/2021#Text>
6. Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: http://newtest.menr.gov.ua/media/files/Articles/OrhuzkiyCenter/Protces_Do_vkilla_dlya_Evropy.doc (дата звернення: 15.03.2020)
7. Вовк В. Вступ країн центральної та східної Європи до європейського союзу. Вплив на екологічну політику та перспективи сталого розвитку. URL: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:SotybwIMvasJ:eu.prostir.ua/data%3Ft%3D1%26q%3D730+&cd=2&hl=uk&ct=clnk&gl=ua> (дата звернення: 15.03.2020)
8. The Global Risks Report 2019, 14th Edition [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019>
9. Про основні напрями державної політики у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки: Постанова Верховної Ради України від 05.03.1998. №188/98-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/98-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 25.03.2020)
10. Про Національну програму екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води: Постанова Верховної Ради України від 27.02.1997. №123/97-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/123/97-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 25.03.2020)
11. Про заходи щодо охорони водно-болотних угідь, які мають міжнародне значення: Постанова Кабінету Міністрів України від 23.11.1995. №935.

- URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/935-95-%D0%BF#Text> (дата звернення: 25.03.2020)
12. Про Концепцію збереження біологічного різноманіття України: Постанова Кабінету Міністрів України від 12.05.1997. №439. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/439-97-%D0%BF#Text> (дата звернення: 23.03.2020)
13. Про участь України в Конвенції про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовище існування водоплавних птахів: Закон України від 29.10.1996. №437/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/437/96-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 23.03.2020)
14. Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015: Закон України від 21.09.2000. №1989-III. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T001989?an=2> (дата звернення: 23.03.2020)
15. Конвенція про охорону та використання транскордонних водойм та міжнародних озер від 17.03.1992. URL: <http://www.unesco.org/env/water/> (дата звернення: 23.03.2020)
16. Андрусевич А., Андрусевич Н., Козак З. Довідник чинних міжнародних договорів України у сфері охорони довкілля. Львів, 2009. С. 115–124.
17. Збірник міжнародно-правових актів у сфері охорони довкілля. Львів: Норма, 2002. С. 329–342.
18. Про ратифікацію Протоколу про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер: Закон України від 09.07.2003. №1066-IV. 1 с.
19. Транскордонна Рамсарська територія «Прип'ять – Стохід – Простир»: розвиток спільної природоохоронної діяльності України і Республіки Білорусь, 2010. 54 с.
20. Eichvald E.I. Naturhistorische Skizze von Lithauen, Volynien und Podolien in geognostisch mineralogischer, botanischer und zoologischer Hinsicht. Wilno, 1830. – 210 p.
21. Барбот-де-Марни Н.П. Геологические исследования, произведенные в 1868 г. в губ. Киевской, Подольской, Волынской Зап. Санкт-петербург. гор. ин-та. 1872. С. 81–93.
22. Тутковский П.Т. Зональность ландшафтов и почв в Волынской губернии // Тр. об-ва. иссл. Житомир, 1910. Т. 2. С. 53–65.
23. Ruhle E. Utwory lodowcowe zachodniej czesci Polesia Wolynskiego Kosmos. 1937. Vip. IV. P. 103–112.
24. Kulczyński S. Torfowiska Polesia. Krakow, 1940. 777 p.
25. Бондарчук В.Г. Геологічна будова Української РСР. К.: Рад. школа,

1963. – 376 с.

26. Заморій П.К. Четвертинні відклади Українського Полісся. Нариси про природу і сільське господарство Українського Полісся. К.: КДУ, 1955. 45 с.
27. Маринич О. Про льодовикові та водно-льодовикові форми рельєфу Українського Полісся. Наук. зап. Київ. держ. ун-ту. 1958. Т. XVII. Вип. 1. С. 115–121.
28. Геренчук К.І. Природно-географічний поділ Львівського та Подільського економічних районів / К.І. Геренчук, М.М. Койнов, П.М. Цись. – Л.: Вид-во Львів. ун-ту, 1964. – 221 с.
29. Шевчук М.Й. Екологічний стан озерних екосистем та основні напрями його покращення / М.Й. Шевчук, М.П. Косенко, П.В. Юрчук // Наук. вісн. Волинського держ. ун-ту ім. Лесі Українки – 2007. – №11, Ч. 2.
30. Антропогенізація ландшафтів Шацького національного природного парку. Стан і біорізноманіття Шацького національного природного парку: матеріали наук. конф. «Сучасні проблеми заповідної справи» (ЛНУ ім. Івана Франка та Шацький національний природний парк, 7–10 вересня 2006 р., смт. Шацьк), «Фактори загрози біотичному різноманіттю: їх індикація та способи зниження негативної дії» (ЛНУ ім. Івана Франка та Шацький національний природний парк, 21–23 вересня 2007 р., смт. Шацьк); редкол. В.П. Кучерявий та ін. Львів: СПОЛОМ, 2007, С. 24–28.
31. Койнова І. Антропізація ландшафтних систем західної частини Волинського Полісся. Вісник Львівського ун-ту. Серія: географія. 2000. Вип. 26. С. 30–34.
32. Мокрий В.І. Піць Н.А. Інтеграція даних географічних інформаційних систем і дистанційного зондування землі для екологічного картографування. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. Львів. Вид-во НЛТУ України, 2008. Вип. 18.11. С. 175–181.
33. Мокрий В.І., Паславський М.М., Калагурка Л.В. Біофізичний моніторинг екосистем Шацького НПП. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. 2012. Вип. 22.15. С. 104–109.
34. Мокрий В.І. Інформаційні технології моніторингу і еколого-картографічного моделювання процесів урбанізації природоохоронних територій Західного Полісся. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: Вид-во НЛТУ України, 2011. Вип. 21.18. С. 315–322.
35. Андрієнко Т.Л., Кузьмичов А.І., Прядко О.І. Болота в районі Шацьких озер. Український ботан. журн. 1971. Т. 28. №6. С. 727–733.
36. Дідух Я.П., Огаренко Ю.Д. Оцінка загроз екосистемам та біотичним комплексам Західного Полісся. Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. К.: КМ Академія, 2008. Т. 80. С. 50–56.

37. Мартинюк В.О. Ландшафтно-гідрографічна характеристика Рамсарської транскордонної території регіонального ландшафтного парку «Прип'ять – Стохід». Заповідна справа в Україні. – 2013. – Вип. 19(1). – С. 93–98.

Розділ 2

1. Стожаров А.Н. Медична екологія: навч. посіб. Мінськ: Вища школа, 2008. 368 с.
2. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля: Постанова КМУ від 30.03.1998 №391. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF> (дата звернення: 09.08.2020)
3. Мокрий В.І. Інформаційні технології моніторингу і еколого-картографічного моделювання процесів урбанізації природоохоронних територій Західного Полісся. Львів: Наук. вісн. НЛТУ України, 2011. Т. 21, №18. С. 315–322.
4. Атрасевич О.В., Загородня С.А., Радчук І.В. Технології ДЗЗ для обробки даних моніторингу водних об'єктів в басейні р. Прип'ять. Зб. наук.-практ. конф. «Геоінформаційні системи у сьогоденні». Дунаївці – Залісці, 2013. С. 15–23.
5. Загородня С.А., Охарєв В.О., Попова М.А., та ін. Інформаційні технології для екологічного моніторингу водно-болотних екосистем Українського Полісся. Матеріали XII міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (с.м.т. Кацівелі 9–13 вересня 2013 р.). Київ, 2013. С. 185–191.
6. Трофимчук О.М., Мокрий В.І., Радчук І.В. та ін. Інформаційне забезпечення гідроакустичного моніторингу озер Західного Полісся. Зб. наук. праць «Екологічна безпека та природокористування». Київ, 2015. Вип. 1(17). С. 5–15.
7. Карпенко Н.І. Типизація озерних улоговин Шацького поозер'я. Українське Полісся: вчора, сьогодні, завтра. Луцьк, 1998. С. 95–96.
8. Карпенко Н.І., Хомік Н.В. Динаміка берегів озер поліського типу. Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геог. 2000. Вип. 27. С. 39–45.
9. Ільїн Л.В. Конструктивно-географічні основи господарського використання різнотипних озер Полісся. Наук. вісник Волин. держ. ун-ту імені Лесі Українки. 1999. №9. С. 52–55.
10. Удод В.М., Трофімович В.В., Волошкіна О.С. та ін. Техноекологія: навч. посіб. для студ. КНУБА, Київ: Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ., 2007. 195 с.

11. Загородня С.А. Оцінка екологічного стану природно-заповідних територій засобами геоінформаційних технологій: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «екологічна безпека». Київ, 2016. 141 с.
12. Новохацька Н.А. Комплексна оцінка та прогнозування впливу сміттєзвалищ на складові довкілля: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 «екологічна безпека». Київ, 2015. 177 с.
13. Охарєв В.О., Радчук І.В., Новохацька Н.А. та ін. Експедиційні дослідження Білоозерської ділянки Рівненського природного заповідника. Матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (3–6 жовтня 2016 р.). Київ, 2016. С. 49–53.
14. Загородня С.А., Новохацька Н.А., Охарєв В.О. Дослідження екологічного стану локальної геосистеми із застосуванням геоінформаційних технологій. Інформаційні технології в задачах екологічної оцінки природно-заповідних: збір. матер. конференції «ГІС-форум-2017». Харків: ХНУ «Смугаста типографія», 2017. Вип. 1. С. 28–31.
15. Радчук І.В., Атрасевич О.В., Охарєв В.О. Ехолокаційна батиметрія лімнологічних акваторій національного природного парку «Прип'ять – Стохід». Матеріали XVI міжнар. наук.-практич. конфер. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами з надзвичайних ситуацій» (3–4 жовтня 2017 р.). Київ – Пуща-Водиця, 2017. С. 181–183.
16. Загородня С.А., Новохацька Н.А., Триснюк Т.В. Екологічна оцінка стану Дністровського каньйону Тернопільської області. Матеріали XVI міжнар. наук.-практич. конфер. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами з надзвичайних ситуацій» (3–4 жовтня 2017 р.). Київ – Пуща-Водиця, 2017. С. 183–188.
17. Zagorodnya S.A., Novokhatska N.A., Okhariev V.O., GIS-Based assessing anthropogenic influence in Western Polissya region Limnological ecosystems. Ecological safety and nature management. Kyiv, 2018. №2(26). P. 23–34.
18. Новохацкая Н.А., Загородня С.А. Пространственное моделирование антропогенного влияния на водные экосистемы с использованием геоинформационных технологий. Межд. науч.-практич. конфер. «Инновационные технологии и перспективы развития естественных и общественно-гуманитарных наук в условиях глобализации». Пенджикент: Таджикский Педагогический институт, 2018. С. 264–268.
19. Радчук В.В., Крета Д.Л., Радчук І.В. та ін. Експедиційні дослідження акваторії «Бакотська Затока» на основі комплексного використання даних ДЗЗ

- та гідроакустичних методів. Матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конфер. (25–26 вересня 2018 р.). Київ: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2018. С. 183–187.
20. Трофимчук О.М, Красовський Г.Я, Радчук В.В. та ін. Експедиційні дослідження параметрів екологічного стану затоки Бакота. Зб. наук. праць «Екологічна безпека та природокористування». Київ, 2019, №2(30). С. 45–55.
21. Трофимчук О.М., Радчук І.В, Охарєв В.О. та ін. Дослідження озер України в умовах наростаючого антропогенного впливу. Міжнар. наук.-практ. конфер. «Вода для всіх». Київ, 2019. С. 215–216.
22. Трофимчук О.М., Триснюк В.М., Клименко В.І. та ін. Дослідження та оцінка стану екосистем р. Дністер в межах Національного природного парку «Подільські Товтри». Матеріали XVIII міжнар. наук.-практ. конфер. (1–2 жовтня 2019 р.). Київ: ТОВ «Видавництво «Юстон». С. 31–37;
23. Zahorodnya S., Sheviakina N, Radchuk I. Application of Gis-technologies in the information-analytical system of management of nature conservation territories 2nd International Scientific Symposium «Sustainable development – State and Prospects» (February 12–15, 2020). Lviv: Slavske. P. 149–151.
24. Мокрий В.І. Крутень В.С., Радчук І.В. та ін. Еколого-кліматичні умови проєктованого Нобельського національного природного парку. Зб. наук. ст. «IV Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю». Вінниця: ДІЛО, 2013. С. 323–325.
25. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг безпеки водних екосистем з застосуванням геоінформаційних технологій. Київ: Наукова думка, 2007. 493 с.
26. Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В. та ін. Інформаційно-аналітичні технології дослідження озер Шацького НПП. Зб. наук. ст. «III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю» (21–24 вер. 2011 р.). Вінниця, 2011. Т. 1. С. 130–133.
27. Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днестра на территории Украины. Киев: Академперіодика, 2002. 355 с.
28. Федорів Р.Ф. Три Полісся: стан і динаміка змін локальних екосистем. Матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. «Шацький національний природний парк: регіональні аспекти, шляхи та напрямки розвитку». Волинь: Наук. вісн. ВДУ, 2007. №11, ч. 2. С. 36–41.
29. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М. та ін. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. Київ: Наук. думка, 2011. 608 с.

Розділ 3

1. Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Трофимчук О.М. та ін. Геомоделі в завданнях еколого-економічних оцінок земель. Монографія. За ред. К.: ТОВ «Видавництво «Юстон». – 2018. – 256 с.
2. Томченко О.В. Обґрунтування методів системного аналізу стану водно-болотних угідь з використанням даних дистанційного зондування Землі і наземних спостережень (на прикладі верхів'я Київського водосховища): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд.: спец. 05.07.12 «Дистанційні аерокосмічні дослідження» / Томченко Ольга Володимирівна – Київ, 2015. – 22 с.
3. Офіційний сайт National Oceanic and Atmospheric Administration URL: <http://www.noaa.gov/satellites.html>. (дата звернення: 09.08.2020).
4. J.C. Ritchie, P.V. Zimba, J.H. Everitt Remote sensing techniques to assess water quality, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 69, no. 6, 2003 pp. 695–704. DOI: 10.14358/PERS.69.6.695
5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Москва: Техносфера, 2010. 582 с.
6. Лялько В.І. Стан і перспективи розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Україні. Наук. журн. «Космічна наука і технологія». 2002. Т. 8, №2/3. С. 29–35.
7. Лялько В.І., Довгий С.О., Трофимчук О.М. та ін. Інформатизація аерокосмічного землезнавства. Центр аерокосм. досліджень Землі. Київ: Наук. думка, 2001. 606 с.
8. Пашенко Р.Е., Радчук В.В., Красовський Г.Я. та ін. Моніторинг навколишнього середовища з використанням космічних знімків супутника NOAA. Київ, 2013. 316 с.
9. Landsat/ Центр дистанційного зондування та геоінформаційних систем URL: <http://www.gis-terra.kz/services/dz/dz/landsat> (дата звернення: 09.08.2020)
10. Кошко А.А. Супутник дистанційного зондування землі LANDSAT 8 URL: <http://kadastr.org/conf/2013/pub/infoteh/dzz-sputnik-landsat.htm> (дата звернення: 09.08.2020)
11. Zagorodnya S. Radchuk I. Methodology of creating a geoinformation system for cartographic support to decisions relating to the Black sea water resources protection. Book of abstracts international conference «Marine research horizon» (Sept. 17–20, 2020, Varna, Bulgaria), Varna: Helix Press Ltd, 2013. P. 195.
12. Радчук І.В., Клименко В.І., Крета Д.Л., Новохацька Н.А., Охарєв В.О., Вишняков В.Ю. Космічний моніторинг екологічного стану озера Нобель. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою,

- природокористуванням, заходами з надзвичайних ситуацій: матеріали 11-ої міжнар. наук.-практ. конф. – Київ – Харків – АР Крим, 2012. – С. 133–138.
13. Сопрунюк П.М., Мельник М.М. Вимірювання батиметричних характеристик озера Світязь. Відбір і обробка інформації. Київ, 2011. Вип. 35(111). С. 91–95.
14. Карпенко Н.І. Типизація озерних улоговин Шацького поозер'я. Українське Полісся: вчора, сьогодні, завтра. Луцьк, 1998. С. 95–96.
15. Карпенко Н.І., Хомік Н.В. Динаміка берегів озер поліського типу. Львів, 2000. Вип. 27. С. 39–45.
16. O.V. Tomchenko Using the method of multicriteria optimization of remote sensing materials and ground data to assess the ecological status of the Kyiv reservoir Ecological safety and nature management, Kyiv 2014, pp. 31–39.
17. S.O. Dovgy, P.I. Bidiuk, O.M. Trofimchuk, O.I. Savenkov Forecasting methods in decision support systems. K.: Azimuth-Ukraine. 2011. pp. 234–345.
18. M. Ramadas, A. Kumar S. Applications of Remote Sensing and GIS in Water Quality Monitoring and Remediation: A State-of-the-Art Review. Water Remediation, 2017 pp. 225–246. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7551-3_13

Розділ 4

1. Греков Л.Д., Красовський Г.Я., Трофимчук О.М. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом: монографія Ін-т пробл. нац. безпеки при РНБО України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору НАН України. Київ. Наук. думка, 2007. 123 с.
2. Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Трофимчук О.М., Андреев С.М. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря: монографія Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору. Київ. Інформ. системи. 2010. 260 с.
3. Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного-фонду / О.М. Трофимчук, О.М. Адаменко, В.М. Триснюк; Ін-т телеком. та глоб. інформ. простору; Івано-Франківський нац. тех. ун-т. нафти і газу. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2021. – 343 с. ISBN 978-617-7468-53-9.
4. Попова М. Онтологічна модель інтерфейсу агрегації розподілених інформаційних ресурсів у галузі екологічної безпеки з використанням ГІС: Екологічна безпека та природокористування. збірник наукових праць. М-во освіти і науки України, Київський нац. ун-т будівництва і архітектури НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору. Київ. 2013. Вип. 13. С. 135–143.

5. Dovgyi S., Stryzhak O. Transdisciplinary Fundamentals of Information-Analytical Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Cham, vol. 152. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_7
6. Приходнюк В.В. Технологічні засоби трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06. Київ, 2017. 20 с.
7. Попова М.А. Модель онтологического интерфейса агрегации информационных ресурсов и средств ГИС. Межд. журн. «Информационные технологии и знания». 2013. Т. 7, №4. С. 362–370.
8. Радчук І.В. Реалізація геоінформаційних технологій підтримки прийняття рішень для управління екологічною безпекою озерних екосистем. Екологічні науки. Науково-практичний журнал. К.: ДЕА. 2015. №7 С. 141–145.
9. Порядок розроблення паспорта водного об'єкта, затверджений Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів №474 від 14.07.2021 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0775-13#n13> (дата звернення: 15.03.2020).
10. Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днестра на территории Украины. Под ред. А.Г. Васенко, С.А. Афанасьева. Киев: Академперіодика, 2002. 355 с.
11. Федорів Р.Ф. Три Полісся: стан і динаміка змін локальних екосистем: матеріали І міжнар. наук.-практ. конф. «Шацький національний природний парк: регіональні аспекти, шляхи та напрямки розвитку». Наук. вісн. ВДУ. Волинь, 2007. №11, ч. 2. С. 36–41.
12. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волині: Лімно-географічна характеристика. Луцьк: Надстир'я, 2000. 140 с.
13. Драбкова В.Г., Кузнецов В.К. Отчет по теме «Экологические проблемы малых озер» Ин-т озераведения АН СРСР. Ленинград, 1990. 238 с.
14. Водно-болотні угіддя України: довідник. Ред. Г.Б. Марушевського, І.С. Жарук. Київ, 2006. С. 312. URL: www.wetlands.org (дата звернення: 12.08.2021)

Розділ 5

1. Екопаспорт Черкаської області, Черкаси: Держуправління охорони навколишнього природного середовища в Черкаській області., Ч.: 2009. 91 с.
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2008 р., ДУОНПС в Черкаській обл. Ч.: 2009. 199 с.
3. Трофимчук О.М., Радчук І.В., Охарєв В.О., Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Триснюк Т.В. Дослідження озер України в умовах наростаючого антропогенного навантаження. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Вода для всіх». Київ, 2019 С. 215–216.

4. Загородня С.А., Шевякіна Н.А., Новік М.І., Радчук І.В. Дослідження екологічного стану Кременчуцького водосховища в межах Черкаської області методами ДЗЗ. Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2010. Т. 23(62). №2. С. 84–91.
5. Красовський Г.Я., Загородня С.А., Новохацька Н.А. та ін. Ідентифікація процесів евтрофікації лімнологічних систем методами обробки космічних знімків. Матеріали XII міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» (22–24 вересня 2017 р.). Миколаїв: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2017. С. 237–241.
6. Мокрий В.І., Трофимчук О.М., Гречаник Р.М. та ін. Інформаційні технології роботизованого моніторингу гідрологічної мережі РЛП «Равське Розточчя» Зб. тез: «Проблеми та перспективи розвитку економіки і підприємництва та комп'ютерних технологій в Україні». Матеріали XII наук.-практ. конфер. (4–8 квітня 2016 р.). Львів, 2016. С. 25–27.
7. Карпенко Н.І. Шацькі озера. Географічна енциклопедія України. – К.: УЕ, 1990. – Т. 3. – С. 442.
8. Мольчак Я.О. Ільїн Л.В., Гром В.А. Конструктивно-географічні основи використання озер Волині. Екологія, водне господарство та проблеми водних ресурсів України. Луцьк. Надстир'я, 1997. С. 91–95.
9. Загородня С.А. Геоінформаційна система моніторингу природоохоронних територій. Матеріали XVIII Міжнарод. наук.-практ. конфер. (1–2 жовтня 2019 р.). Київ: ТОВ «Видавництво «Юстон». С. 31–37.
10. Zahorodnya S., Sheviakina N., Radchuk I. Application of Gis-technologies in the information-analytical system of management of nature conservation territories. 2nd International Scientific Symposium «Sustainable development – State and Prospects» (February 12–15, 2020). Lviv – Slavske. 2020. P. 149–151.
11. Trofymchuk O., Klymenko V., Sheviakina N. et al. Assessment of the impact of anthropogenic activities on aquatic ecosystems. Water Supply and Wastewater Disposal, Designing, Construction, Operation, and Monitoring. Lublin, 2020. P. 328–335.
12. Trofymchuk O., Zagorodnia S., Sheviakina N. et al. Remote Sensing Monitoring of Biotopes Distribution within Nature Reserve Area. Journal: Environmental Research, Engineering, and management. Lithuania – Kaunas, 2020 Vol. 76, №3. P. 109–120. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.76.3.25204> (дата звертання: 06.09.2020)
13. Trofymchuk O., Klymenko V., Anpilova Y et al. The aspects of using GIS in the monitoring of environmental components. International multidisciplinary scientific conference SGEM 2020 (August 16–25, 2020). Bulgaria – Albena, 2020. P. 581–588. URL: [10.5593/sgem2020/2.1/s08.075](https://doi.org/10.5593/sgem2020/2.1/s08.075) (дата звернення: 06.09.2021)

14. Трофимчук О.М., Триснюк В.М., Миронцов М.Л. та ін. Геоекологічний моніторинг водних об'єктів України: комплексна оцінка та прогнозування стану. Зб. наук. праць: «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами з надзвичайних ситуацій». Матеріали XVI міжнар. наук.-практич. конфер. (6–7 жовтня 2020). Київ, 2020. С. 125–128.
15. Mokryy V., Trofimchuk O., Vasilenko S. et al. Information support of conception of environmental safety of water supply and wastewater treatment. Lublin, 2016. P. 132–145.
16. Mokryy V., Trofimchuk O., Pohrebennyk V. et al. Biophysical monitoring of forest ecosystems. Journal of Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae universitatis Presoviensis. Slovakia – Presov, 2016. Vol. 43. P. 167–172.
17. Novokhatska N., Zagorodnia S., Tomchenko O. Investigation of wetlands state using remote sensing methods. International youth forum integration processes of the world science in the 21st century (October 10–14, 2016). Azerbaijan – Ganja, 2016. P. 147.
18. Korchenko O., Pohrebennyk V., Gancarczyk J. et al. Use of modern information technologies for and management of nature reserve areas. International multidisciplinary scientific conference SGEM 2019. Bulgaria – Albena, 2019. P. 697–703. URL: 10.5593/sgem2019/2.1/S07.091 (дата звертання: 07.10.2021)
19. Trofymchuk O., Zahorodnya S., Sheviakina N. et al. Remote Sensing Monitoring of Biotopes Distribution within Nature Reserve Area. Journal of Environmental Research, Engineering, and Management. 2020. Vol. 76. №3. P. 109–120. URL: 10.5755/j01.ere.m.76.3.25204 (дата звертання: 07.10.2021)
20. Розробка наукового еколого-економічного обґрунтування проекту створення Національного природного парку «Нобельський». Рівненська область. Екологічний паспорт регіону. URL: www.ecorivne.gov.ua/tmp/ecopasport_2011.pdf. (дата звертання: 07.10.2021)
21. Zagorodnya S., Klimenko V, Radchuk I. et al. Peculiarities of information technologies in the system of management of environmental territories. International Exhibition and Scientific Conference «Education and Sports in the Age of Power and Happiness» (November 14–15, 2019). Ashgabat. P. 230–232;
22. Мокрий В.І. Крутень В.С., Радчук І.В. Еколого-кліматичні умови проєктованого Нобельського національного природного парку. IV Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія – 2013/ Ecology – 2013, 25–27 верес. 2013 р.): зб. наук. ст. Вінниця: ДІЛО, 2013. С. 323–325.
23. Загородня С.А., Клименко В.І., Радчук І.В. Ідентифікація впливу рекреаційного навантаження для території природного заповідника. Матеріали

- міжнар. наук.-практ. конфер.: «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації» (22–25 березня 2017). Івано-Франківськ, 2017. С. 404–405.
24. Горванко Г.Д., Радчук В.В., Трофимчук О.М. Геоекологічні проблеми розвитку та збереження ландшафтів. Матеріали міжнар. наук.-практ. конфер.: «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації» (22–25 березня 2017 р.). Івано-Франківськ, 2017. С. 215–216.
25. Красовська І.Г., Ковальова В.О. Методика створення цифрових кадастрових планів: навч. посіб. Харків, 2016. 35 с.
26. Радчук В.В., Радчук І.В., Шумейко В.О. та ін. Можливості застосування ГІС та ДЗЗ технологій для оцінки природно-заповідних територій. Матеріали III-ої міжнар. практ. конф.: «Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень» (13–14 травня 2016 р.). Чернівці, 2016. С. 183–185.
27. Trysnyuk V., Trysnyuk T., Okhariev V. et al. Cartographic model of Dniester river basic probable funding. Geology and Environmental Engineering. Baia Mare, Romania. 2018. Vol. 32, №1. P. 51–55. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebpk_2018_2_8 (дата звертання: 07.10.2020)
28. Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Трофимчук О.М. Геомоделі екологічного стану територіальних вод України на Чорному морі за даними космічних зйомок. Матеріали Міжнар. наук. конф.: «Морські геолого-геофізичні дослідження: фундаментальні та прикладні аспекти» (8–9 листопада 2018 р.). Одеса: Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2018. С. 52–57.
29. Єремеев В.М., Красовський Г.Я., Куковська Т.С. та ін. Геоінформаційна технологія космічного моніторингу Чорного моря з використанням знімків НОАА. Наук. журн.: Геоінформатика. Київ, 2018. №2(66). С. 24–34.
30. Красовський Г.Я., Радчук В.В., Загородня С.А. Інформаційні ресурси інтерактивної системи підтримки рішень з питань управління екологічною безпекою українського сектору Чорного моря. Наук. журн.: Геоінформатика. Київ, 2016. №1(57). С. 57–65.
31. Новохацька Н.А., Загородня С.А., Триснюк Т.В. Дослідження екологічного стану локальної геосистеми із застосуванням геоінформаційних технологій. Зб. наук. праць за матеріалами XV міжнар. наук.-практ. конф.: «Проблеми екологічної безпеки» (11–13 жовтня 2017 р.). Кременчук, 2017. С. 54.
32. Радчук В.В., Охарєв В.О., Шумейко В.О. Космічний моніторинг акваторії Азовського моря в задачах екологічної безпеки. Матеріали Міжнар. наук. конф.: «Морські геолого-геофізичні дослідження: фундаментальні та прикладні аспекти» (8–9 листопада 2018 р.). Одеса: Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2018. С. 214–2187.

Керівництво та науковці Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України висловлюють подяку керівництву та науковим відділам природно-заповідних об'єктів України за надану можливість та сприяння при проведенні наукових досліджень на територіях:

- Шацького Національного природного парку;
- Національного природного парку «Синевир»;
- Рівненського природного заповідника;
- Національного природного парку «Прип'ять – Стохід»;
- Національного природного парку «Подільські Товтри».

Проведення експедиційних досліджень гідроекосистем України сприяють прийняттю відповідних рішень щодо оптимального використання, охорони та збереження природно-ресурсного потенціалу, розробки довгострокових планів ефективного його використання, обґрунтування стратегії та плану дій щодо захисту унікальних водних об'єктів, зокрема для збереження ландшафтного та біотичного різноманіття водойм.

Наукове видання

Трофимчук О. М., Триснюк В. М., Анпілова Є. С., Бутенко О. С., Вишняков В. Ю.,
Загородня С. А., Клименко В. І., Клочко Т. О., Красовська І. Г., Крета Д. Л.,
Миронцов М. Л., Охарєв В. О., Попова М. А., Радчук І. В., Триснюк Т. В.,
Шевякіна Н. А., Шумейко В. О.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ: МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

Монографія

Редактор – *Триснюк В.М.*
Комп'ютерна верстка – *Голіней О. В.*
Коректор – *Голіней Н. О.*

Формат 60х84/8. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура «Times New Roman». Ум. друк арк. 15,8
Наклад 300 пр. Зам. № 141 від 25.05.2022

Видавець: Супрун В. П.
76000, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Витвицького, 24/2,
тел./ф.: (0342) 71-04-40, e-mail: printsv@ukr.net
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія ІФ № 25 від 17.10.2005

Друк: підприємець Голіней О. М.
76000, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 128,
тел.: +38 066 4816 601, +38 050 540 30 64