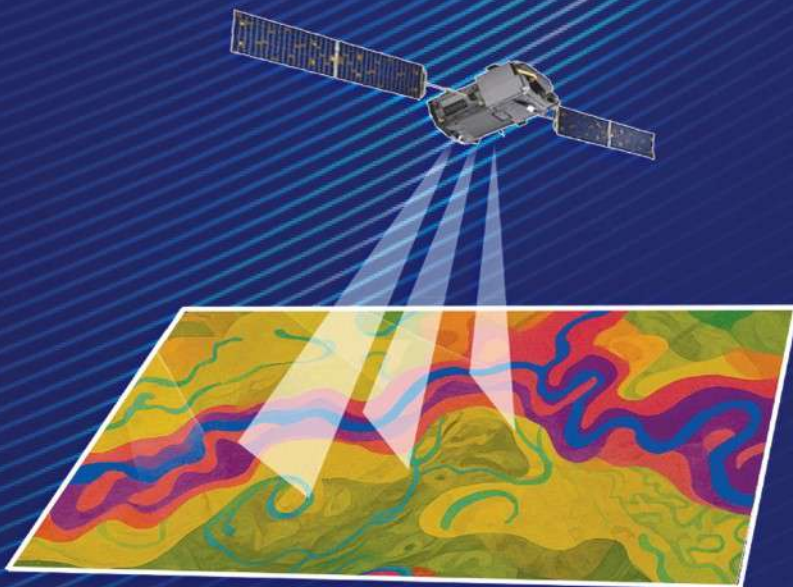


Л. В. ПЛІЧКО, В. К. ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ,
В. І. ЗАЦЕРКОВНИЙ

ОЦІНКА СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ



Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут «Інститут геології»

**Л. В. ПЛІЧКО, В. К. ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ
В. І. ЗАЦЕРКОВНИЙ**

ОЦІНКА СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ

Монографія

За редакцією В. К. Хільчевського

Київ
ДІА
2026

УДК 556.3+681.518.3:504.064.3:004.94

П 48

Рецензенти:

В.В. Гребінь – доктор географічних наук, професор,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка;
В.Ю. Беленок – кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Національний університет «Київський авіаційний інститут».

*Рекомендовано до друку Вченою радою
навчально-наукового інституту «Інститут геології»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(04 березня.2026 р., протокол № 8)*

Плічко Л.В., Хільчевський В.К., Зацерковний В.І. Оцінка стану водних об'єктів з використанням ДЗЗ: монографія / За ред. В.К. Хільчевського. Київ: ДІА, 2026. 172 с.

ISBN 978-617-7785-91-9

Монографія присвячена оцінюванню стану водних об'єктів з використанням ДЗЗ на прикладі басейну Десни в Чернігівській області та Шацьких озер на Волині. Досліджено питання багаторічної динаміки деформації річкового русла, затоплення і підтоплення територій, «цвітіння води» та динаміки площі дзеркала озер. Використання засобів ГІС та ДЗЗ дозволяють оперативно виявляти природні або антропогенні зміни у водних об'єктах та на їх водозборах, що може бути використано для покращення їхнього стану.

Для фахівців з моніторингу водних об'єктів і застосування ГІС та ДЗЗ у сфері використання та охорони вод і довкілля в цілому. Може бути корисною в освітньому процесі для забезпечення відповідних освітніх програм за спеціальностями G18 «Геодезія та землеустрій» та E4 «Науки про Землю».

Plichko L.V., Khilchevskiy V.K., Zatserkovnyi V.I. Assessment of the condition of water bodies using remote sensing: monograph / Ed. by V.K. Khilchevskiy. Kyiv: DIA, 2026. 172 p.

The monograph is devoted to assessing the condition of water bodies using remote sensing, using the example of the Desna basin in the Chernihiv region and the Shatsk Lakes in the Volyn region. It examines the long-term dynamics of riverbed deformation, flooding and submergence of territories, «water blooms» and the dynamics of lake surface area. The use of GIS and remote sensing allows for the rapid detection of changes in water bodies and their catchment areas, which can be used to improve their condition.

For specialists in monitoring water bodies and applying GIS and remote sensing in the field of water use and protection and the environment in general. It may be useful in the educational process to provide relevant educational programmes in the specialities G18 «Geodesy and Land Management» and E4 «Earth Sciences».

ISBN 978-617-7785-91-9

© Л.В. Плічко, В.К. Хільчевський,
В.І. Зацерковний, 2026.

ЗМІСТ

CONTENT.....	5
ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ	7
ПЕРЕДМОВА.....	11
INTRODUCTION.....	15
1. МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ.....	19
1.1. Загальні відомості про ДЗЗ. Платформи для отримання інформації.....	19
1.2. Космічні програми Landsat, Sentinel та інші.....	22
1.3. Аналіз та обробка супутникових знімків. Застосування спектральних індексів для оцінки стану водних об'єктів.....	40
1.4. Напрями застосування засобів ГІС та ДЗЗ для оцінки стану поверхневих вод.....	55
1.5. Гідроморфологічна оцінка водних об'єктів.....	61
1.6. Оцінка трофічного стану водойм.....	74
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ БАСЕЙНУ ДЕСНИ В МЕЖАХ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	80
2.1. Геолого-геоморфологічні умови.....	80
2.2. Рельєф, ґрунти.....	83
2.3. Клімат.....	87
2.4. Гідрологічна характеристика.....	88
3. ОЦІНКА СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ ДЕСНИ В МЕЖАХ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ	106
3.1. Багаторічна динаміка деформації русла Десни.....	106
3.2. Затоплення та підтоплення території	116
3.3. Трофічний стан деяких водойм в басейні Десни.....	118
3.4. «Цвітіння води» та обміління у водоймах на урбанізованій території.....	122
4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ШАЦЬКОГО ПООЗЕР'Я	126
4.1. Геолого-геоморфологічні умови.....	126
4.2. Рельєф, ґрунти.....	129
4.3. Клімат.....	134
4.4. Гідрологічна характеристика.....	136
5. ОЦІНКА СТАНУ ШАЦЬКИХ ОЗЕР З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗ.....	143
5.1. Багаторічна динаміка площі озер (за індексом NDWI).....	143
5.2. Багаторічна динаміка «цвітіння води» озер (за індексом NDTI)...	146

5.3. Зв'язок між багаторічними коливаннями атмосферних опадів, рівнями води та площею озера Світязь.....	149
5.4. Оцінка зв'язку між рекреаційним навантаженням та «цвітінням води» озера Світязь.....	150
ВИСНОВКИ.....	153
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	155
REFERENCES.....	163

CONTENT

LIST OF TERMS, SYMBOLS AND ABBREVIATIONS.....	7
INTRODUCTION.....	11
INTRODUCTION (in English).....	15
1. METHODS FOR ASSESSING THE STATE OF SURFACE WATERS USING REMOTE SENSING	19
1.1. General information about remote sensing. Platforms for obtaining information.....	19
1.2. Space programs Landsat, Sentinel, ets.....	22
1.3. Satellite imagery analysis and processing. Using spectral indices to assess the condition of water bodies.....	40
1.4. Areas of application of GIS and remote sensing for assessing the state of surface waters.....	55
1.5. Hydromorphological assessment of water bodies.....	61
1.6. Assessment of the trophic state of water bodies.....	74
2. CHARACTERISTICS OF NATURAL CONDITIONS OF THE DESNA RIVER BASIN WITHIN THE CHERNIGIV REGION	80
2.1. Geological and geomorphological conditions.....	80
2.2. Relief, soils.....	83
2.3. Climate.....	87
2.4. Hydrological characteristics.....	88
3. ASSESSMENT OF THE STATE OF SURFACE WATERS IN THE DESNA BASIN WITHIN THE CHERNIHIV REGION USING REMOTE SENSING	106
3.1. Long-term dynamics of the Desna riverbed deformation.....	106
3.2. Flooding of the area during the spring flood.....	116
3.3. Trophic state of some water bodies in the Desna Basin.....	118
3.4. 'Water bloom' and shallowing in water bodies in urbanized areas....	122
4. CHARACTERISTICS OF NATURAL CONDITIONS OF SHATSK LAKES	126
4.1. Geological and geomorphological conditions.....	126
4.2. Relief, soils.....	129
4.3. Climate.....	134
4.4. Hydrological characteristics.....	136
5. ASSESSMENT OF THE STATE OF THE SHATSK LAKES USING REMOTE SENSING	143
5.1. Long-term dynamics of lake area (using NDWI).....	143
5.2. Long-term dynamics of 'water bloom' in Lakes (using NDTI).....	146

5.3. Relationship between long-term fluctuations in precipitation, water levels and the area of Lake Svityaz.....	149
5.4. Assessment of the relationship between recreational load and 'water bloom' of Lake Svityaz.....	150
SUMMARY.....	153
REFERENCES.....	155
REFERENCES (in English)	163

Перелік термінів, умовних позначень, символів та скорочень

БСК	–	біохімічне споживання кисню
ВО	–	відрізок обстеження
Вода прісна	–	вода, що має мінералізацію до 1000 мг/дм ³ (до 1,0 г/дм ³)
Водойма	–	постійне або тимчасове скупчення стоячої або зі зниженим стоком води в природних або штучних западинах (озеро, водосховище, ставок)
Водотік	–	водний об'єкт, який характеризується постійним або тимчасовим рухом води в руслі в напрямку загального ухилу (річка, струмок, канал)
ВРД ЄС	–	Водна рамкова директива Європейського Союзу
ГДК	–	гранично допустима концентрація
Гідроморфологічна оцінка водного об'єкта	–	комплексний аналіз стану водного об'єкта (річки, озера), що включає вивчення його гідрологічного режиму та морфологічних характеристик (форма русла, берегів, наявності перешкод) для визначення його функціональності.
ГІС	–	геоінформаційна система
Головні йони природних вод	–	йони, що містяться в поверхневих водах у найбільших концентраціях (хлориди, сульфати, гідрокарбонати, натрій, калій, магній, кальцій) і на 95-98 % складають мінералізацію води
Державний моніторинг вод	–	система спостережень, збору, обробки та аналізу даних про стан водних об'єктів, яка включає прогнозування їх змін та розробку рекомендацій для прийняття управлінських рішень, що стосуються водних ресурсів
ДЗЗ	–	дистанційне зондування Землі – спостереження поверхні Землі авіаційними

		і космічними засобами, спорядженими різноманітними видами знімальної апаратури
ДО	–	ділянка обстеження
Евтрофікація водойм	–	процес інтенсивного збагачення води біогенними елементами, що призводить до надмірного росту водоростей і водяної рослинності («цвітіння води»)
Забруднювальна речовина	–	будь-яка хімічна речовина, тепло або біологічний вид, який в результаті господарської діяльності потрапляє у водний об'єкт у кількостях, що виходять за природні граничні коливання і призводять до погіршення якості води
Забруднювач або джерело забруднення	–	об'єкт, який вносить у природні води хімічні речовини, мікроорганізми або тепло, що призводить до погіршення якості вод
Затоплення території	–	покриття певної місцевості поверхневими водами, яке призводить до порушення господарської діяльності та умов проживання людей
ІЧВ	–	інфрачервоне випромінювання
Космічні (спутникові) знімки	–	інтегральна назва даних, що отримуються за допомогою космічних апаратів у різних діапазонах електромагнітного спектру, що потім візуалізуються за визначеним алгоритмом
Мінералізація природних вод	–	сумарний вміст усіх знайдених при хімічному аналізі води мінеральних речовин; зазвичай виражається в мг/дм ³ , г/дм ³ . В океанологічній практиці замість терміну М. вживається термін «солоність» води, яка виражається в ‰
МПВ	–	масив поверхневих вод
нм	–	нанометр
Підтоплення території	–	процес підвищення рівня ґрунтових вод, спричинений природними або антропогенними чинниками

Російсько-українська війна	–	війна Росії проти України (з 2014) – збройна агресія Російської Федерації проти суверенітету й територіальної цілісності України. Virізняють етапи: 20.02.2014–23.02.2022 – гібридна війна; від 24.02.2022 – широкомасштабне вторгнення Росії в Україну (Велика українська енциклопедія, 2024)
Стічні води (невірно – «стоки»)	–	води, що утворилися в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтних і дренажних вод), а також відведені із забудованої території, на якій вони утворилися внаслідок випадання атмосферних опадів
Трофність водойми	–	біологічна продуктивність водойми, зумовлена вмістом поживних речовин (біогенних елементів, таких як азот та фосфор), необхідних для життєдіяльності організмів
ХСК	–	хімічне споживання кисню
«Цвітіння води»	–	масовий розвиток фітопланктону, який викликає зміну кольору води і погіршує кисневу забезпеченість вод
Ціанобактерії	–	тип бактерій, що отримують необхідну енергію через фотосинтез. Застаріла назва синьо-зелені водорості
Якість води	–	сукупність фізичних, хімічних, біологічних і бактеріологічних показників, що визначають її придатність для конкретного виду використання
ЦМВ	–	цифрова модель висот
ArcGIS	–	Arc Geographic Information System
ASTER	–	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	–	Advanced Very High Resolution Radiometer
CERES	–	Clouds and Earth's Radiant Energy System
Chl	–	Chlorophyll
ERS-1	–	European Remote Sensing Satellite 1

ERDAS Imagine	–	Earth Resources Data Analysis System Imagine
EO browser	–	Earth Observation browser
ENVI	–	Environmental for Visualizing Imagery
ESA	–	European Space Agency
ETM	–	Enhanced Thematic Mapper
MISR	–	Multi-angle Imaging Spectroradiometer
MODIS	–	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOPITT	–	Measurements of Pollution in the Troposphere
MSS	–	Multispectral Scanner
NASA	–	National Aeronautics and Space Administration
NDPI	–	Normalized Difference Pond Index
NDTI	–	Normalized Difference Turbidity Index
NDWI	–	Normalized Difference Water Index
NIR	–	Near-infrared
OWQI	–	Oregon Water Quality Index
RBV	–	Return Beam Vidicon
SABI	–	Surface Algal Bloom Index
SNAP	–	Sentinel Application Platform
SRTM	–	Shuttle Radar Topographic Mission
SWIR	–	Short-wave infrared
TSI	–	Trophic State Index
QGIS	–	Quantum Geographic Information System
USGS	–	United States Geological Survey

Передмова

Оцінювання стану водних об'єктів за допомогою засобів геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) стають ключовими методами в сучасних дослідженнях у сфері сталого управління водними ресурсами та їх охорони.

Варто зазначити, що дослідження поверхневих вод необхідне для аналізу їхнього стану, використання та охорони водних ресурсів. У водних об'єктах зосереджені біологічні, мінеральні та рекреаційні природні ресурси. На їх прибережній території розміщені населені пункти, промислові та агропромислові комплекси, об'єкти стаціонарної та регульованої рекреації, що призводить до забруднення водного середовища. Тому моніторингові дослідження необхідні для раціонального використання та збереження ресурсного потенціалу поверхневих вод. Окрім цього, у наш час водні об'єкти потерпають від кліматичних змін, тому саме оперативність моніторингу набуває особливого значення.

До того ж, використання засобів ГІС, перш за все, дозволяє інтегрувати великі обсяги як просторових, так і атрибутивних даних, а також візуалізувати зміни, які відбуваються у водному об'єкті, у динаміці за досліджуваний період. У свою чергу, дані ДЗЗ забезпечують можливість отримання об'єктивної, актуальної інформації про стан водного об'єкта, ступінь його забруднення та просторової фіксації процесів, що безпосередньо відбуваються в ньому. Поєднання цих засобів отримання даних створює потужний аналітичний інструментарій для прийняття рішень у сфері управління, використання та охорони водних ресурсів.

Розширення кількості публікацій про застосування ГІС та ДЗЗ в Україні відзначається з початку 2000-х років. Це зокрема праці, в яких висвітлюється застосування ГІС та ДЗЗ для вирішення низки завдань, пов'язаних із: загальними питаннями природокористування – В.І. Лялько та ін., Г.Р. Байрак та ін., С.О. Довгий та ін. [32, 4, 37]; застосуванням геоінформаційних систем в науках про Землю [20]; космічним моніторингом водних екосистем і прогнозування водоспоживання міст – Г.Я. Красовський та ін. [30]; екологічним станом водойм (мілководдя Київського водосховища, озеро Світязь) – О.В. Томченко та ін. [52, 53]; оцінюванням стану водних екосистем на основі методів системного аналізу аерокосмічної та наземної інформації – О.Д. Федоровський та ін. [54]; дослідженням озер та використанням ГІС Шацького національного природного парку для виявлення екологічних загроз – О.В. Альохіна та ін., В.В. Кошовий та ін. [2, 3, 29]; оцінюванням природно-антропогенних трансформацій озер Поліського регіону – В.О. Мартинюк та ін. [33]; використанням геоінформаційних технологій і даних дистанційного зондування Землі для оцінки якості води у водоймах – Ф.Т. Шумаков та О.Т. Азімов [72];

визначенням екологічного стану водосховищ та деяких показників якості води – С.А. Шевчук та ін. [70, 71].

Публікації іноземних авторів, які стосуються методів оцінювання стану поверхневих вод засобами ДЗЗ охарактеризовані в розд. 1.1.

Основна мета цього дослідження полягає у висвітленні результатів та можливостей оцінювання стану водних об'єктів із застосуванням засобів ГІС та ДЗЗ, використання яких дозволяє оперативно виявляти природні або антропогенні зміни у водних об'єктах та на їхніх водозборах, що закладає основу для наступних цілеспрямованих натурних гідрологічних, гідрохімічних та гідробіологічних досліджень водних об'єктів з метою покращення їхнього стану.

Водними об'єктами, на яких застосовувалися засоби ГІС та ДЗЗ для оцінювання їхнього стану, стали водотоки басейну Десни у межах Чернігівської області та Шацькі озера у Волинській області.

Матеріали та методи дослідження. Використано результати власних досліджень авторів, що охоплювали період 1983–2023 рр., отримані з використанням архівних даних Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України; департаменту екології та природних ресурсів Чернігівської ОДА; Деснянського басейнового управління водних ресурсів (БУВР) і БУВР Західного Бугу та Сяну, а також регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області Держводагентства України; Шацького національного природного парку, департаменту економіки, інвестиційної діяльності та регіональної політики Волинської ОДА (в сферу діяльності якого входить туризм).

Для дослідження водних об'єктів застосовано пасивні методи дистанційного зондування Землі. Аналіз здійснювався на основі співвідношення спектральних каналів супутникових знімків Landsat 4–5, 7–8 за період 1983–2023 рр. та Sentinel-2 L2A за період 2017–2022 рр. Обробку та візуалізацію даних виконано із використанням програмних продуктів ArcGIS та QGIS.

Результати власних досліджень авторами публікувалися у вигляді наукових статей та в матеріалах міжнародних наукових конференцій. Зокрема з питань застосування ДЗЗ для оцінки затоплення території під час весняних повеней у басейні Десни, стану малих річок в Чернігівській області та можливості їх ревіталізації [107–110]. По Шацьких озерах оцінювалася динаміка площі озер протягом тривалого періоду на основі даних ДЗЗ у зв'язку з коливаннями їхнього рівня (1985–2023), «цвітіння» води та ступінь евтрофікації озер у роки різного рекреаційного навантаження [67, 94–96, 107].

Матеріали досліджень було структуровано у п'ятьох розділах цієї книги.

У першому розділі висвітлено методи оцінювання стану поверхневих вод за допомогою засобів ГІС та ДЗЗ. Розглянуто загальні відомості про ДЗЗ, платформи для отримання інформації та коротко охарактеризовано космічні програми Landsat, Sentinel та ін. Наведено деякі аспекти щодо аналізу та обробки супутникових знімків, застосування нормалізованих диференційних індексів для оцінки стану водних об'єктів. Досліджено можливості оцінювання гідроморфологічних змін водних об'єктів, трофічного стану водних об'єктів тощо.

У першому розділі для ілюстрації деяких положень щодо застосування засобів ГІС та ДЗЗ використано супутникові знімки водних об'єктів та об'єктів інфраструктури, зруйнованих російськими агресорами під час російсько-української війни, а саме: супутникові знімки Каховського водосховища на Дніпрі до руйнації греблі і після руйнації 6 червня 2023 р. (рис. 1.6, стор. 32); зображення наслідків руйнації очисних споруд каналізації м. Василівка Запорізької області в 2022 р. (рис. 1.14, стор. 44). У «Переліку термінів, умовних позначень, символів та скорочень» до цієї монографії наведено визначення терміну «Російсько-українська війна» (стор. 9), взяте з Великої української енциклопедії (А.М. Киридон, С.С. Троян, 2024).

Другий розділ присвячено характеристиці природних умов басейну Десни в межах Чернігівської області. Охарактеризовано геолого-геоморфологічні умови, рельєф, ґрунти, клімат та гідрологічні аспекти території.

У третьому розділі наведено приклади оцінювання стану поверхневих вод басейну Десни в межах Чернігівської області за допомогою засобів ГІС та ДЗЗ. Розглянуто багаторічну динаміку деформації русла р. Десна, затоплення території під час весняної повені. Також визначено трофічний стан деяких водойм в басейні Десни й вивчено ступінь цвітіння води у водних об'єктах на урбанізованій території.

У четвертому розділі наведено характеристику природних умов Шацького поозер'я: геолого-геоморфологічні умови, рельєф, ґрунти, клімат та гідрографія.

П'ятий розділ присвячено оцінюванню стану низки Шацьких озер за допомогою засобів ГІС та ДЗЗ. Досліджено багаторічну динаміку площі озер із застосуванням індексу NDWI, а також «цвітіння» води Шацьких озер із застосування індексу NDTI. Встановлено зв'язок між багаторічними коливаннями атмосферних опадів, рівнями води та площею озера Світязь. Досліджено також динаміку рекреаційного навантаження на Шацькі озера протягом 1988-2023 рр.

Автори вдячні за конструктивні зауваження і побажання щодо рукопису монографії, які висловили рецензенти: *В.В. Гребінь* – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

В.Ю. Беленок – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою факультету архітектури, будівництва та дизайну Національного університету «Київський авіаційний інститут».

В монографії висвітлено результати досліджень, виконаних вченими Київського національного університету імені Тараса Шевченка, які представляють кафедру геоінформатики навчально-наукового інституту (ННІ) «Інститут геології», на якій реалізується освітня програма (ОП) «Оцінка землі та нерухомого майна» (спеціальність G18 «Геодезія та землеустрій»), і кафедру гідрології та гідроекології географічного факультету, на якій реалізується ОП «Гідрологія, використання та збереження водних ресурсів» (спеціальність Е4 «Науки про Землю»).

Розділи, написані авторами: Л.В. Плічко – вступ, розд. 1-5, висновки; В.К. Хільчевський – вступ, розд. 1-2, 4-5, загальне наукове редагування; В.І. Зацерковний – вступ, розд. 2-3, висновки.

А в т о р и:

Плічко Людмила Володимирівна – доктор філософії з галузі знань «Природничі науки», асистент кафедри геоінформатики ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Хільчевський Валентин Кирилович – доктор географічних наук, професор, відмінник освіти України, заслужений діяч науки і техніки України, почесний працівник гідрометслужби України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Зацерковний Віталій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геоінформатики ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

INTRODUCTION

Assessing the state of water bodies using geoinformation systems (GIS) and Earth remote sensing (ERS) are becoming key in modern research in the field of sustainable water resources management and protection.

It should be noted that surface water research is essential for analysing their condition, use, and protection of water resources. These water bodies contain biological, mineral, and recreational resources. Their coastal areas are home to settlements, industrial and agricultural facilities, and permanent and regulated recreational facilities, all of which contribute to aquatic pollution. Therefore, monitoring studies are essential for the rational use and preservation of surface water's resource potential. Furthermore, water bodies are currently suffering from climate change, making timely monitoring particularly important.

Furthermore, the use of GIS, first of all, allows the integration of large volumes of spatial and attribute data, as well as the visualization of changes occurring in a water body over time. Remote sensing data provides the ability to obtain objective, up-to-date information on the condition of a water body, the degree of pollution, and the spatial recording of processes occurring within it. The combination of these data acquisition tools creates a powerful analytical tool for decision-making in the management, use, and protection of water resources.

An increase in the number of publications on the application of GIS and remote sensing in Ukraine has been observed since the early 2000s. These include, in particular, works that cover the application of GIS and remote sensing to solve a number of problems related to: general issues of nature management - V.I. Lialko, H.R. Bairak, S.O. Dovhyi, ets [32, 4, 37]; the application of geoinformation systems in Earth sciences [20]; space monitoring of aquatic ecosystems and forecasting of urban water consumption – H.Ya. Krasovskiy, ets [30]; the ecological state of water bodies (shallow water of the Kyiv Reservoir, Lake Svityaz) – O.V. Tomchenko, ets [52, 53]; assessment of the state of aquatic ecosystems based on the methods of system analysis of aerospace and ground-based information – O.D. Fedorovskiy, ets [54]; study of lakes and the use of GIS of the Shatskyi National Nature Park to identify environmental threats – O.V. Alokhina, V.V. Koshoviy, ets [2, 3, 29]; assessment of natural and anthropogenic transformations of lakes in the Polissia region – V.O. Martyniuk, ets [33]; using geoinformation technologies and Earth remote sensing data to assess water quality of water bodies – F.T. Shumakov and O.T. Azimov [72]; determination of the ecological state of reservoirs and some water quality indicators – S.A. Shevchuk, ets [70, 71].

Publications of foreign authors concerning methods of assessing the state of surface waters using remote sensing are characterized in Chapter 1.1.

The main objective of this study is to highlight the results and possibilities of assessing the state of water bodies using GIS and remote sensing, the use of

which allows for the rapid identification of natural or anthropogenic changes in water bodies and their catchments, which lays the foundation for subsequent focused full-scale hydrological, hydrochemical and hydrobiological studies of waters.

The water bodies where GIS and remote sensing were used to assess their condition were the watercourses of the Desna Basin within the Chernihiv region and the Shatsk Lakes in the Volyn region.

Materials and research methods. The authors' own research results, covering the period 1983–2023, were obtained using archival data from the Central Geophysical Observatory Boris Srznevskiy The State Emergency Service of Ukraine; the Department of Ecology and Natural Resources of the Chernihiv Regional State Administration; the Desnianskyi Basin Water Resources Authority (BWRA) and the Basin Water Resources Authority of the Western Bug and San Rivers, as well as the regional water resources office in the Volyn region of the State Water Agency of Ukraine; the Shatsk National Nature Park, and the Department of Economy, Investment Activity, and Regional Policy of the Volyn Regional State Administration (whose responsibilities include tourism).

Passive remote sensing methods were used to study the water bodies. The analysis was based on the spectral band ratios of Landsat 4–5 and 7–8 satellite images for the period 1983–2023 and Sentinel-2 L2A for the period 2017–2022. Data processing and visualization were performed using ArcGIS and QGIS software.

The authors published their research results in scientific articles and in the proceedings of international scientific conferences. In particular, on the use of remote sensing data to assess flooding during spring floods in the Desna River Basin, the state of small rivers in the Chernihiv region, and the possibility of their revitalization [107–110]. For the Shatsk Lakes, the dynamics of the lake area over a long period was estimated based on remote sensing data in connection with fluctuations in their level (1985–2023), ‘water bloom’, and the degree of lake eutrophication in years of different recreational load [67, 94–96, 107].

The research materials were structured into five chapters of this book.

The first chapter discusses methods for assessing surface water conditions using GIS and remote sensing. It provides general information about remote sensing and platforms for obtaining information, and briefly describes the Landsat, Sentinel, and other space programs. It also covers aspects of satellite imagery analysis and processing, as well as the use of normalized differential indices for assessing water conditions. The potential for assessing hydromorphological changes in water bodies and the trophic status of water bodies is explored.

In the first chapter, satellite images of water bodies and infrastructure facilities destroyed by Russian aggressors during the Russian-Ukrainian war are used to illustrate some of the provisions regarding GIS and Earth observation

tools, namely: satellite images of the Kakhovka Reservoir on the Dnieper River before and after the destruction of the dam on 6 August 2023 (Fig. 1.6, p. 32); images of the consequences of the destruction of sewage treatment facilities in the village of Vasylivka, Zaporizhzhia region, in 2022 (Fig. 1.14, p. 44). The 'List of Terms, Symbols, and Abbreviations' in this monograph provides a definition of the term 'Russian-Ukrainian War' (p. 9), taken from the Great Ukrainian Encyclopedia (A.M. Kyrydon, S.S. Troyan, 2024).

The second chapter is devoted to the natural conditions of the Desna River Basin within the Chernihiv region. It describes the geological and geomorphological conditions, relief, soil, climate, and hydrological aspects of the area.

The third chapter presents examples of surface water assessments in the Desna River Basin within the Chernihiv region using GIS and remote sensing. The long-term dynamics of channel deformation in the Desna River Basin and flooding during the spring are examined. The trophic status of some water bodies in the Desna River basin is also determined, and the degree of algal bloom in water bodies in urban areas is studied.

The fourth chapter provides characteristics of the natural conditions of the Shatsk poozeria: geological and geomorphological conditions, relief, soils, climate and hydrography.

The fifth chapter is devoted to assessing the condition of several Shatsk Lakes using GIS and remote sensing. The long-term dynamics of lake area are studied using the NDWI, as well as the algal bloom of the Shatsk Lakes using the NDTI. A relationship is established between long-term variations in precipitation, water levels, and the area of Lake Svityaz. The dynamics of recreational load on the Shatsk Lakes from 1988 to 2023 are also examined.

The authors are grateful for the constructive comments and suggestions regarding the manuscript of the monograph, which were expressed by the reviewers: *V.V. Grebin* – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Hydrology and Hydroecology of the Faculty of Geography of the Taras Shevchenko National University of Kyiv; *V.Yu. Belenok* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Aerospace Geodesy and Land Management of the Faculty of Architecture, Construction and Design of the National University "Kyiv Aviation Institute".

The monograph reflects the results of research carried out by scientists from the Taras Shevchenko National University of Kyiv, who represent the Department of Geoinformatics of the Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, which implements the educational program (EP) "Land and Real Estate Assessment" (specialty G18) and hydroecology of the Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv, which implements the EP "Hydrology, Use and Storage of Water Resources" (specialty E4 "Earth Sciences").

Author Contributions: L.V. Plichko – introduction, chapters 1-5, conclusions; V.K. Khilchevskiy – introduction, chapters 1-2, 4-5, general scientific editing; V.I. Zatserkovnyi – introduction, chapter 2-3, conclusions.

A u t h o r s:

Liudmyla Plichko – PhD in Natural Sciences, Assistant of Department of Geoinformatics at the Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Valentyn Khilchevskiy – Doctor of Geographic Sciences, Professor, Excellent Educationist of Ukraine, Honored Scientist and Engineer of Ukraine, Honored Worker of the Hydrometeorological Service of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Professor in the Department of Hydrology and Hydroecology, Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Vitaliy Zatserkovnyi – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Geoinformatics at the Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv.

1. МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ

1.1. Загальні відомості про ДЗЗ. Платформи для отримання інформації

1.1.1. Загальні відомості про ДЗЗ. Оцінювання стану поверхневих вод засобами ДЗЗ на сьогодні застосовується як при наукових дослідженнях, так і при управлінні раціональним використанням та охороною водних ресурсів.

Багато показників, які характеризують гідрологічний режим річок, були виміряні при наукових дослідженнях з використанням засобів ДЗЗ, таких як мультиспектральні, гіперспектральні, радіолокаційні та лідарні дані. Однак через високу вартість отримання даних, використання ДЗЗ для характеристики річок було орієнтовано здебільшого на пошук відповіді на конкретні дослідницькі питання для тематичних досліджень, а не на вирішення аспектів оперативного впровадження для широкомасштабного застосування [103].

Використання ДЗЗ в дослідженнях стану поверхневих вод пов'язано зі створенням динамічних карт, які полегшують наземні дослідження на водних об'єктах та їхніх водозборах [72].

Оцінювання стану поверхневих вод з використанням ДЗЗ висвітлено в багатьох публікаціях іноземних вчених, зокрема таких як Bukata R.P. та ін. [79], Brivio P.A. та ін. [78], Brezonik P. та ін. [77], Diedhiou C. та ін. [82], Lillesand T.M. та ін. [102], Olmanson L.G. та ін. [104], Ritchie R. та ін. [114]. Результати їхніх досліджень показали, що підвищення концентрації хлорофілу викликає зменшення спектральної реакції на коротких довжинах хвиль, особливо у синіх каналах.

Можливість дослідження Землі з космосу базується на залежності між властивостями земних об'єктів і характеристиками електромагнітного випромінювання [5].

Відомо, що всі природні й штучні земні утворення випромінюють електромагнітні хвилі, що мають як своє власне випромінювання (суходіл, океан, атмосфера), так і відбите від них сонячне випромінювання.

Електромагнітний спектр – це повний діапазон усіх довжин хвиль і частот. Він починається з дуже низького рівня енергії з більшими довжинами хвиль і низькими частотами і має потенціал для перетворення на дуже високий рівень енергії, що складається з менших довжин хвиль і проявляється у вищих частотах [123].

Електромагнітний спектр безперервний і поділяється на кілька областей випромінювання, які називають зонами або діапазонами. Всім відомий видимий спектр, що розкладається на низку кольорів – від фіолетового до червоного [5].

Кожен з типів випромінювання низької частоти (радіовипромінювання, інфрачервоне випромінювання, видиме світло, ультрафіолетові, рентгенівські промені та гамма-випромінювання тощо) займає певне місце в електромагнітному спектрі, який має плавні переходи без різкого поділу на частини (рис. 1.1). В основі визначення яких – методи вимірювання їх власного та відбитого електромагнітного випромінювання.

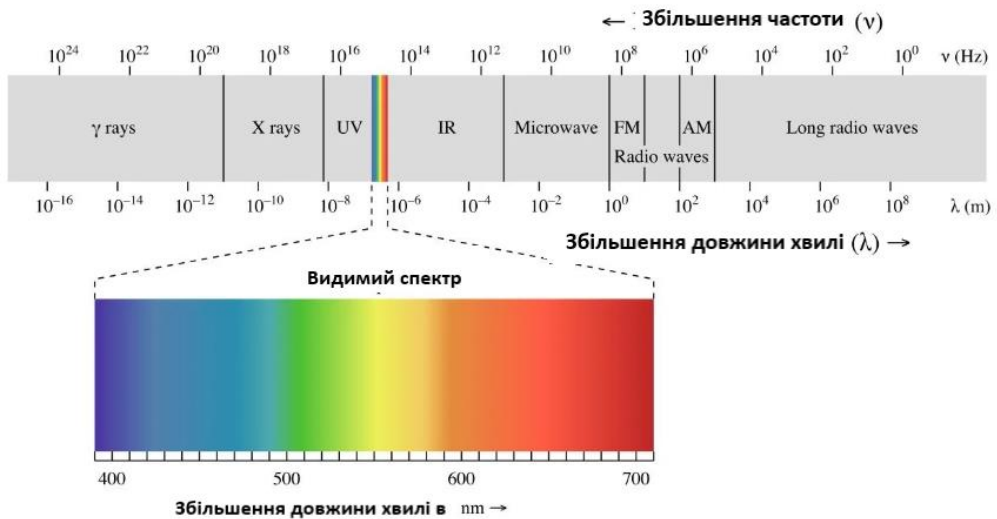


Рис. 1.1. Типи випромінювання низької частоти в електромагнітному спектрі [123]

При цьому враховується ступінь прозорості земної атмосфери для хвиль відповідного діапазону. Це обумовлено тим, що характер відбитої сонячної радіації дуже чутливий до таких параметрів як концентрація хлорофілу А в фітоценозах, завислих органічних та мінеральних речовинах, які знаходяться в поверхневих водах. Так, в тепловому інфрачервоному діапазоні можна виявляти варіації фізико-хімічних параметрів природних процесів за їхніми температурними змінами як вдень, так і вночі. Зйомка в надвисокочастотному діапазоні чутлива до геометричних і діелектричних характеристик поверхонь, що зондуються.

Доцільно використовувати лише декілька найбільш інформативних відносно досліджуваного параметра спектральних зон. На цьому принципі побудовані всі сучасні системи ДЗЗ, а їхні основні характеристики полягають у: високій оглядовості, можливості отримання миттєвої інформації про великі території; можливості переходу від дискретної картини значень показників

стану навколишнього середовища в окремих пунктах території до безперервної картини просторового розподілу показників; можливості отримання інформації у важкодоступних місцях; високому рівні генералізації інформації.

Останнім часом для отримання оцінки стану поверхневих вод використовують не лише зображення водних об'єктів у кольорах, близьких до природних, а й певні індекси, які є комбінацією каналів знімальної апаратури [5].

На рис. 1.2 видно, що рослинність (Grass), наприклад, відбиває відносно мало енергії у видимій смузі спектру та поглинає видиму енергію, зокрема, в синьому та червоному діапазонах для використання в процесі фотосинтезу. Проте близько половини вхідного ближнього інфрачервоного випромінювання відбивається, що характерно для здорової зволоженої рослинності. Ґрунт (Soil) відбиває більше енергії на більшій довжині хвилі, ніж рослинність. Вода (Water) поглинає більшу частину вхідного випромінювання по всьому діапазоні довжин хвиль. Тому, знаючи їх типові характеристики спектрального випромінювання, можна ідентифікувати природні водойми на зображеннях дистанційного зондування та оцінити їхній стан на зображеннях літнього періоду [124].

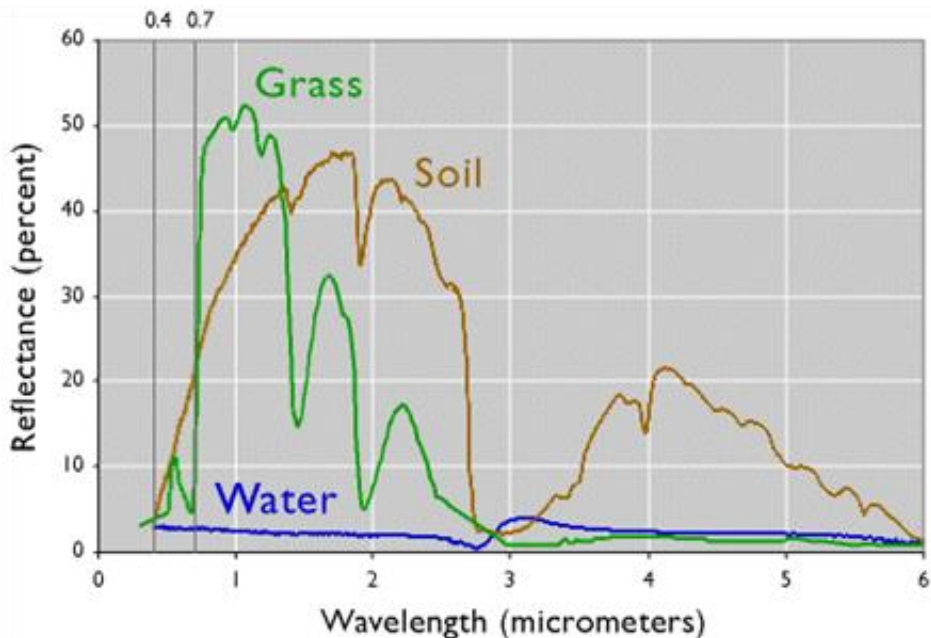


Рис. 1.2. Спектральні моделі відбиття випромінювання водою, ґрунтом та рослинністю [124]

1.1.2. Платформи для отримання інформації про ДЗЗ. На сьогодні найбільш відомими платформами для отримання інформації про ДЗЗ є

Copernicus Open Access Hub, EO Browser, USGS EarthExplorer та Earthdata Search NASA, Planet.

Copernicus – програма, яка надає точну, своєчасну та легкодоступну інформацію для покращення управління навколишнім середовищем, розуміння наслідків зміни клімату, а також забезпечення цивільної захисту. Назва програми віддає шану великому європейському вченому – астроному та математику Миколаю Копернику. Його теорія геліоцентричного Всесвіту зробила новаторський внесок у сучасну науку. Значні обсяги даних із супутників та наземних, повітряних та морських вимірювальних систем надають інформацію, яка допомагає органам державної влади багатьох країн та міжнародним організаціям покращувати життя як громадянам Європи так й інших країн. Інформаційні послуги, що надаються, є безкоштовними та доступними для користувачів. Copernicus охоплює широкий спектр застосувань, таких як: зміна клімату, моніторинг земель та їх використання, температура та лісові пожежі, сільське господарство та охорона навколишнього середовища, моніторинг стихійних лих (виверження вулканів, землетруси), забруднення повітря [81].

EO Browser дозволяє переглядати та порівнювати зображення з високим розрізненням з усіх колекцій даних, які розміщені на платформі. EO Browser дає можливість вибрати необхідні зображення, завантажити їх та обробити дані, а також створити мозаїку [86].

USGS EarthExplorer та *Earthdata Search NASA* відстежують, аналізують та прогнозують поточні та еволюційні зміни Землі, а також надають корисну інформацію в масштабах та часових рамках про ґрунти, воду, біологічні дані та картографічну інформацію для підтримання прийняття рішень з питань ресурсів, довкілля та громадської безпеки [83, 126].

Planet – веб-геоплатформа з доступними супутниковими даними та базовою аналітикою для отримання знань, що надає користувачам у всьому світі можливість приймати ефективні та своєчасні рішення у таких галузях як: сільське господарство, лісове господарство, картографія та державне управління. Платформа Planet розрахована для підприємств, урядів та дослідницьких установ [105].

Отже, вибір платформи для отримання інформації за допомогою ДЗЗ залежить від об'єкта дослідження, а саме його місця розташування, розрізнення супутникових зображень та часового проміжку, який необхідний для дослідження. Найчастіше використовуються дані, отримані такими супутниками ДЗЗ, як Landsat, Sentinel, Terra.

1.2. Космічні програми Landsat, Sentinel та інші

1.2.1. Космічна програма Landsat. Програма Landsat є найтривалішою і складається із серії супутникових місій для спостереження

за поверхнею планети Земля, якими спільно управляють NASA та Геологічна служба США (USGS). З 1972 р. супутники Landsat безперервно отримують зображення земної поверхні та забезпечують постійний архів даних, які допомагають землевпорядникам, планувальникам і політикам приймати обґрунтовані рішення щодо природних ресурсів і навколишнього середовища [101]. Основні характеристики серії супутникових місій Landsat наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Основні характеристики серії супутникових місій Landsat (укладено авторами за [99])

Супут- ник	Рік	Розрізнення (м)	Довжина хвилі (µm)	Призначення
1	2	3	4	5
Landsat -1	1972 - 1978	80	Band 1: 0.475–0.575 (RBV)	розпізнавання ґрунту/рослинності, розмежування листяних/хвойних лісів, батиметрія чистої води
		80	Band 2: 0.580–0.680 (RBV)	оцінка росту/життєздатності рослинності, оцінка осаду, батиметрія прозорості води
		80	Band 3: 0.690-0.830 (RBV)	класифікація сільськогосподар- ських культур, виявлення окисненого заліза, картографування льоду та снігу
		80	Band 4: 0.5-0.6 (MSS)	вода, осадки, мілководдя
		80	Band 5: 0.6-0.7 (MSS)	культурні об'єкти
		80	Band 6: 0.7-0.8 (MSS)	рослинність
		80	Band 7: 0.8-1.1 (MSS)	прозорість атмосфери, рельєф
Landsat -2	1975 - 1982	80	Band 1: 0.475–0.575 (RBV)	розпізнавання ґрунту/рослинності, розмежування листяних/хвойних лісів, батиметрія чистої води

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Landsat-2	1975 - 1982	80	Band 2: 0.580–0.680 (RBV)	оцінка росту/життєздатності рослинності, оцінка осаду, батиметрія прозорості води
		80	Band 3: 0.690-0.830 (RBV)	класифікація сільськогосподарських культур, виявлення окисненого заліза, картографування льоду та снігу
		80	Band 4: 0.5-0.6 (MSS)	вода, осадки, мілководдя
		80	Band 5: 0.6-0.7 (MSS)	культурні об'єкти
		80	Band 6: 0.7-0.8 (MSS)	рослинність
		80	Band 7: 0.8-1.1 (MSS)	прозорість атмосфери, рельєф
Landsat-3	1978 - 1983	80	Band 4: 0.5–0.6	оцінка завислих речовин у воді, оконтурення ділянок мілководдя
		80	Band 5: 0.6–0.7	розпізнавання штучних об'єктів (будівлі, споруди)
		80	Band 6: 0.7-0.8	розпізнавання рослинності, меж між суходолом та водою, форми рельєфу
		80	Band 7: 0.8–1.1	розпізнавання рослинності, меж між суходолом та водою, форми рельєфу
		80	Band 8: 10.4–12.6	відсутній, потерпів невдачу при запуску

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Landsat-4	1982 - 2001	30	Band 1: 0.45–0.52	батиметричне картографування, розпізнавання ґрунту від рослинності та листяної рослинності від хвойної
		30	Band 2: 0.52–0.60	визначення піку розвитку рослинності
		30	Band 3: 0.63–0.69	розпізнавання рослинності на схилах
		30	Band 4: 0.76–0.90	визначення вмісту біомаси та берегової лінії
		30	Band 5: 1.55–1.75	визначення вмісту вологи в ґрунті та рослинності
		120	Band 6: 10.4–12.50	теплове картографування та оцінка вологості ґрунту
		30	Band 7: 2.08–2.35	гідротермальні змінення породи, пов'язані з родовищами корисних копалин
Landsat-5	1984 - 2011	30	Band 1: 0.45–0.52	батиметричне картографування, розпізнавання ґрунту від рослинності та листяної рослинності від хвойної
		30	Band 2: 0.52–0.60	визначення піку розвитку рослинності
		30	Band 3: 0.63–0.69	розпізнавання рослинності на схилах

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Landsat-5	1984 - 2011	30	Band 4: 0.76–0.90	визначення вмісту біомаси та берегової лінії
		30	Band 5: 1.55–1.75	визначення вмісту вологи в ґрунті та рослинності
		120	Band 6: 10.4–12.50	теплове картографування та оцінка вологості ґрунту
		30	Band 7: 2.08–2.35	гідротермальні змінення породи, пов'язані з родовищами корисних копалин
Landsat-7	1999	30	Band 1: 0.441–0.514	картографування прибережних вод, розпізнавання ґрунту від рослинності та визначення міських територій
		30	Band 2: 0.519–0.601	оцінка стану рослинності та розпізнавання видів рослин
		30	Band 3: 0.631–0.692	визначення поглинання хлорофілу та картографування рослинності; розпізнавання різних типів ґрунтового покриття
		30	Band 4: 0.772–0.898	для аналізу рослинності; розпізнавання суходолу та води

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Landsat-7	1999	30	Band 5: 1.547–1.749	визначення вмісту вологи в рослинності та ґрунті; виявлення незначних відмінностей у типах рослинності
		60	Band 6: 1.031–1.236	вимірювання температури поверхні, теплове картографування, управління водними ресурсами та моніторинг вулканічної активності
		30	Band 7: 2.064–2.345	геологічне картографування та розпізнавання різних типів гірських порід
		15	Band 8: 0.515–0.896	картографування прибережних вод, розпізнавання ґрунту від рослинності та визначення міських територій
Landsat-8	2013	30	Band 1: 0.435–0.451	картографування прибережних вод; розпізнавання ґрунту, рослинності та техногенних об'єктів; класифікація лісів
		30	Band 2: 0.452–0.512	класифікація рослинності та техногенних об'єктів
		30	Band 3: 0.533–0.590	ідентифікація видів рослин та техногенних об'єктів

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Landsat-8	2013	30	Band 4: 0.636–0.673	вимірювання вологості ґрунту; розпізнавання водної поверхні та суходолу
		30	Band 5: 0.851–0.879	вимірювання вмісту води в рослинності
		30	Band 6: 1.566–1.651	вимірювання температури поверхні землі; визначення стану рослинності; вимірювання вологості ґрунту; класифікація хмар; моніторинг вулканічної активності
		30	Band 7: 2.107–2.294	розпізнавання гірських порід; вимірювання
		15	Band 8: 0.503–0.676	визначення вологості ґрунту
		30	Band 9: 1.363–1.384	картографування з високим геометричним розрізненням
		100	Band 10: 10.60–11.19	теплове картографування та оцінка вологості ґрунту
		100	Band 11: 11.50–12.51	теплове картування та оцінка вологості ґрунту
Landsat-9	2021	30	Band 1: 0.433–0.453	картографування прибережних вод; розпізнавання ґрунту, рослинності та техногенних об'єктів; класифікація лісів

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Landsat-9	2021	30	Band 2: 0.450–0.515	класифікація рослинності та техногенних об'єктів
		30	Band 3: 0.525–0.600	ідентифікація видів рослин та техногенних об'єктів
		30	Band 4: 0.630–0.680	вимірювання вологості ґрунту; розпізнавання водної поверхні та суходолу
		30	Band 5: 0.845–0.885	вимірювання вмісту вологи в рослинності
		30	Band 6: 1.560–1.660	вимірювання температури поверхні землі; визначення стану рослинності; вимірювання вологості ґрунту; класифікація хмар; моніторинг вулканічної активності
		30	Band 7: 2.100–2.300	розрізнення гірських порід;
		15	Band 8: 0.500–0.680	вимірювання вологості ґрунту
		30	Band 9: 1.360–1.390	картографування з високим геометричним розрізненням
		100	Band 10: 10.300–11.300	теплове картографування та оцінка вологості ґрунту
		100	Band 11: 11.500–12.500	теплове картографування та оцінка вологості ґрунту

Канали MSS на перших трьох супутниках Landsat (1-3) мали по чотири спектральні канали, позначені як 4, 5, 6 та 7. На супутниках Landsat-4 та Landsat-5 канали були перейменовані на 1, 2, 3 та 4. Із них два канали знаходяться у видимому діапазоні, а ще два – у відбивному ближньому інфрачервоному діапазоні. Ці канали мають просторове розрізнення 79 м x 79 м. Канал 8 (тепловий інфрачервоний) був присутній лише на супутнику Landsat-3 і мав просторове розрізнення 240 м x 240 м. Спектральні канали обирались для вивчення певних середовищ на Землі. Канал 1 MSS може бути використаний для виявлення зеленого відбиття від здорової рослинності, а канал 2 призначений для виявлення поглинання хлорофілу рослинністю. Канали 3 та 4 MSS добре підходять для запису піків відбиття ближнього інфрачервоного діапазону зеленою рослинністю та для виявлення меж вода-суходіл [100].

До запуску Landsat-8 на початку 2013 р., Landsat-5 TM відіграв важливу роль для забезпечення безперервності даних через збій коректора рядків сканування Landsat-7 у 1993 р. Спектральні канали Landsat-8 (1–9) датчика OLI, хоча й подібні до датчика ETM+ Landsat-7, забезпечують покращення зображення порівняно з попередніми приладами Landsat завдяки додаванню двох нових спектральних каналів. Додано насичений синій видимий канал (Band 1), спеціально розроблений для дослідження водних об'єктів та прибережної зони, та новий інфрачервоний канал (Band 9) для виявлення перистих хмар [100].

Спектральні канали пропускання для всіх датчиків Landsat наведено на рис. 1.3.

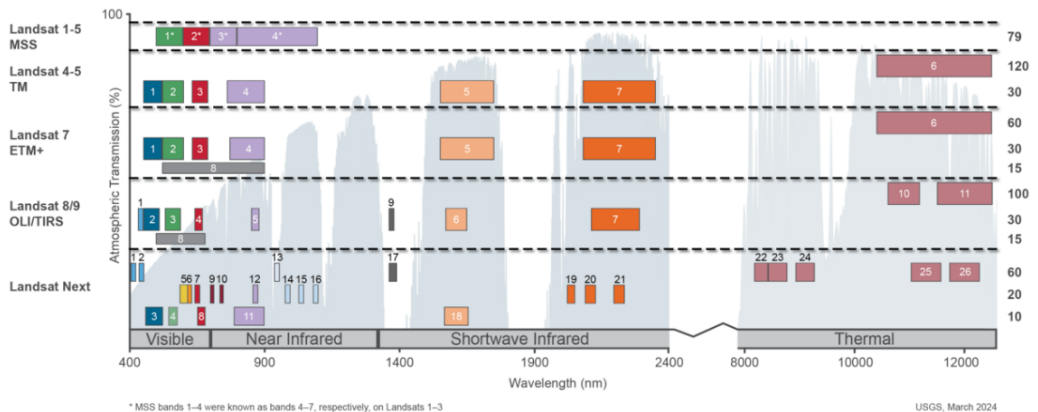


Рис. 1.3. Спектральні канали пропускання для всіх датчиків супутників Landsat [120]

Сильними сторонами Landsat загалом вважається регулярний графік збору даних (обертання навколо Землі кожні 16 або 18 днів), довгостроковий архів даних (зображення доступні від 1972 р.) та відносно багата

спектральна інформація (не така, як гіперспектральні дані, але містить більше діапазонів, ніж більшість супутників високого розрізнення, таких як IKONOS або Quickbird).

Обмеження даних Landsat полягає в тому, що це джерело зображень лише з помірним розрізненням, а фіксований графік збору даних іноді ускладнює отримання зображень для певного місця і в певний час (особливо, якщо там часто бувають хмари або дим) [100].

Супутникові знімки Landsat використовуються для спостереження за процесами евтрофікації водних об'єктів, зміни площ водного дзеркала. Вони є основою для подальшого спектрального аналізу та картографування гідроморфологічних характеристик водних об'єктів.

Результати дослідження з використанням супутникових знімків Landsat є важливим інструментом в прийнятті управлінських рішень щодо раціонального використання та охорони водних об'єктів.

Як приклад, на рис. 1.4 наведено спостереження за процесом «цвітіння води» Каховського водосховища за даними космічного знімку супутника Landsat-8 від 22.06.2016 р.



Рис. 1.4. «Цвітіння води» в Каховському водосховищі на р. Дніпро – за даними космічного знімку супутника Landsat-8 від 22.06.2016 р.

На рис. 1.5 показано процес танення льоду на Шацьких озерах, який зафіксовано на супутниковому знімку Landsat-7 від 24.03.2003 р. Як видно на космічному знімку, процес танення льоду відбувається не зовсім синхронно для різних озер.

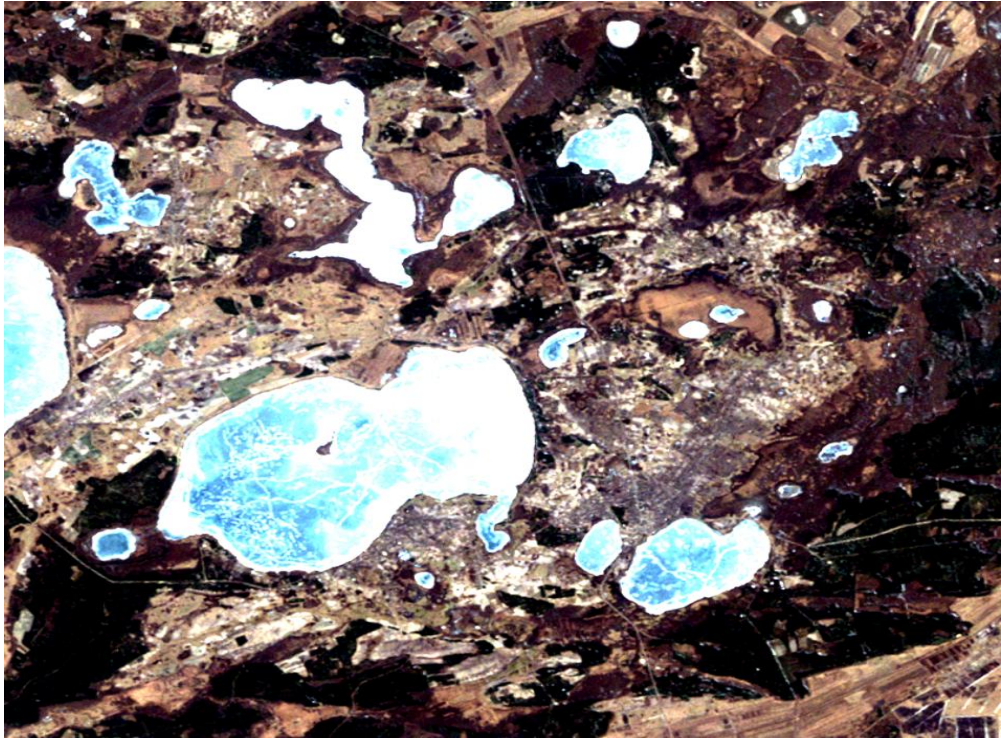


Рис. 1.5. Нерівномірне танення льоду на різних озерах Шацької групи (Волинська область) – за даними космічного знімку супутника Landsat-7 від 24.03.2003 р.

Зображення Каховського водосховища на Дніпрі у звичному стані експлуатації (А) та після підриву греблі Каховської ГЕС російськими агресорами 6 червня 2023 р. (Б) за даними космічних знімків супутників Landsat 8-9 наведено на рис. 1.6.



А



Б

Рис. 1.6. Зображення Каховського водосховища на Дніпрі до руйнації греблі і після руйнації 6 червня 2023 р. під час російсько-української війни – за даними космічних знімків супутників Landsat 8-9: А) 17.05.2023 р.; Б) 18.06.2023 р. [73]

1.2.2. Космічна програма Sentinel. Для виконання операційних потреб програми Copernicus Європейське космічне агентство ESA створило сімейство супутників Sentinel. Ці місії підкріплюються наземним сегментом Copernicus, який контролює роботу супутників, а також здійснює збір, створення та поширення даних [81]. Основні характеристики серії супутникових місій Sentinel наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Основні характеристики серії супутникових місій Sentinel
(укладено авторами за [116])

Супутник	Рік	Розрізнення (м)	Довжина хвилі (μm)	Призначення
1	2	3	4	5
Sentinel-1	2014	10	VV: 5.405 GHz (λ=5.54 см /C-band) VH: 5.405 GHz (λ=5.54 см /C-band)	моніторинг морського льоду, розливів нафти, морських вітрів, хвиль і течій, зміни у землекористуванні, деформації ґрунту, а також реагування на надзвичайні ситуації, такі як повені та землетруси
Sentinel-2	2015	60	Band 1: 0.443	виявлення аерозолів
		10	Band 2: 0.490	розпізнавання ґрунту та рослинності, картографування типів лісів та визначення штучних об'єктів
		10	Band 3: 0.560	розпізнавання контрасту між прозорою та каламутною водою; виокремлення нафти та рослинності на водних поверхнях
		10	Band 4: 0.665	визначення типів рослинності, ґрунтів, міської і сільської забудови

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
		20	Band 5: 0.705	класифікація рослинності
		20	Band 6: 0.740	класифікація рослинності
		20	Band 7: 0.783	класифікація рослинності
		10	Band 8: 0.842	картографування берегової лінії та вмісту біомаси, а також для виявлення та аналізу різних видів рослинності
		20	Band 8A: 0.865	класифікація рослинності
		60	Band 9: 0.945	виявлення водяної пари в атмосфері
		60	Band 10: 1.375	виявлення перистих хмар
		20	Band 11: 1.610	вимірювання вмісту вологи в ґрунті та рослинності, а також забезпечення хорошого контрасту між різними типами рослинності; розпізнавання снігу і хмар
		20	Band 12: 2.190	вимірювання вмісту вологи в ґрунті та рослинності, а також забезпечення хорошого контрасту між різними типами рослинності; розпізнавання снігу і хмар

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
Sentinel-3	2016	300	Band 1: 0.400	виявлення аерозолів в атмосфері, покращене виявлення складових компонентів у воді
		300	Band 2: 0.412	визначення прозорості води
		300	Band 3: 0.442	визначення поглинання Chl, біогеохімія, рослинність
		300	Band 4: 0.490	визначення рівня Chl, інші пігменти
		300	Band 5: 0.510	Chl, осад, завислі речовини, каламутність, червоне цвітіння водного об'єкта
		300	Band 6: 0.560	виявлення Chl (мінімум Chl)
		300	Band 7: 0.620	навантаження осадами, завислі речовини у воді
		300	Band 8: 0.665	Chl (максимум Chl), завислі речовини, рослинність у воді
		300	Band 9: 0.673	визначення флуоресценції
		300	Band 10: 0.681	визначення піку флуоресценції Chl, "червоного краю"
		300	Band 11: 0.708	визначення основної лінії флуоресценції Chl, переходу "червоного краю"

Закінчення таблиці 1.2

1	2	3	4	5
		300	Band 12: 0.753	визначення поглинання O ₂ атмосферою, хмари, рослинність
		300	Band 13: 0.761	смуга поглинання O ₂ , вміст аерозолію
		300	Band 14: 0.764	атмосферна корекція
		300	Band 15: 0.767	використовується для визначення тиску на верхніх шарах хмар, флуоресценції над суходолом
		300	Band 16: 0.778	атмосферна / аерозольна корекція
		300	Band 17: 0.865	атмосферна/ аерозольна корекція, хмар, спільна реєстрація пікселів
		300	Band 18: 0.885	визначення поглинання водяної пари, моніторинг рослинності
		300	Band 19: 0.900	визначення поглинання водяної пари, моніторинг рослинност
		300	Band 20: 0.940	визначення поглинання водяної пари, корекція на атмосферу/аерозолі
		300	Band 21: 1.020	атмосферна / аерозольна корекція

Фахівці використовують супутникові знімки Sentinel для фіксування забруднення водних об'єктів. Наприклад, після зливи в північній частині Мічигану та Вісконсина (США) відбувся сильний розлив місцевих річок, який спричинив надходження великих обсягів каламутної води зі значним вмістом змитих з поверхні завислих речовин в озеро Мічиган (група Великих озер), що було зафіксовано супутником Sentinel (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Забруднення озера Мічиган (Великі озера, США) після зливи (рожевий колір), зафіксоване на космічному знімку супутника Sentinel-2 від 19.06.2018 р. [73]

1.2.3. Космічна програма Terra. Terra – космічний транснаціональний науково-дослідний супутник на сонячно-синхронній орбіті навколо Землі, який функціонує під егідою NASA. Супутник Terra несе на борту 5 дистанційних сенсорів (наукових інструментів) для спостереження за довкіллям і змінами клімату: 1) ASTER; 2) CERES; 3) MISR; 4) MODIS; 5) MOPITT [122].

ASTER отримує зображення Землі з високим розрізненням (від 15 до 90 м² на піксель) у 14 різних довжинах хвиль електромагнітного спектру, від видимого до теплового інфрачервоного світла. Фахівці використовують дані ASTER для створення детальних карт температури повітря, проявів рельєфу Землі [122].

Вчені, використовують також знімки ASTER, досліджують стан водних об'єктів всього світу. Приклад численних меандр, зафіксованих ASTER на Десні поблизу м. Остер Чернігівської області, наведено на (рис. 1.8).

CERES вимірює загальний радіаційний баланс Землі та надає можливість оцінки властивостей хмар, що дозволяє вченим оцінювати роль хмар у радіаційних потоках від поверхні до верхніх шарів [122].

MISR спостерігає за Землею за допомогою камер, спрямованих під дев'ятьма різними кутами. Одна камера спрямована на надир, а інші забезпечують кути огляду вперед і назад на поверхні Землі: 26,1°, 45,6°, 60,0° та 70,5°. MISR відстежує щомісячні, сезонні та довгострокові тенденції щодо: кількості та типів атмосферних аерозольних частинок, включаючи ті, що утворюються за рахунок природних джерел та діяльності людини;

кількості, типів та висоти хмар; розподілу ґрунтового покриву, включаючи структуру рослинного покриву [122].

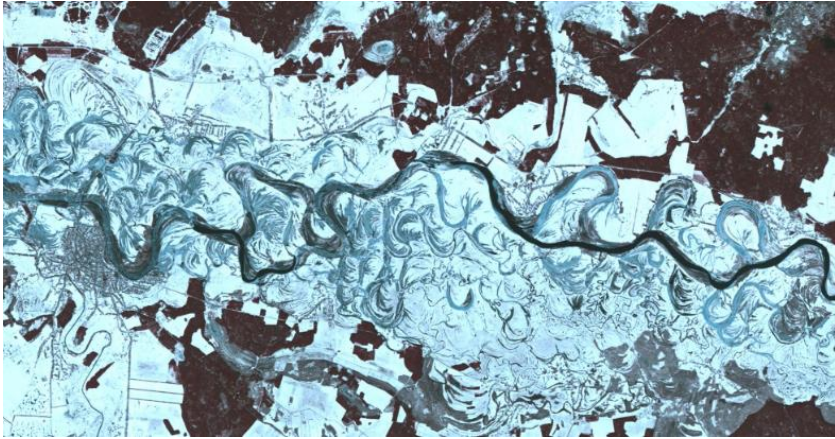


Рис. 1.8. Меандри на р. Десна біля м. Остер (Чернігівська область) за даними космічного знімку зонда ASTER від 06.03.2001 р. [76]

MODIS спостерігає за поверхнею планети кожні 1-2 дні у 36 окремих спектральних діапазонах. MODIS допомагає фахівцям оцінювати вплив хмар та аерозолів на кліматичну систему Землі та її енергетичний баланс [122].

Також космічні знімки MODIS використовуються для спостереження за станом водних об'єктів. Прикладом є фіксація на космічному знімку MODIS процесу «цвітіння води» в Азовському морі (рис. 1.9).



Рис. 1.9. «Цвітіння води» в Азовському морі, зафіксоване на космічному знімку зондом MODIS, 22.08.2005 р. [73]

MOPITT розроблений для дослідження нижніх шарів атмосфери та спостереження за тим, як вони взаємодіють з біосферою над суходолом та

океаном. МОРІТТ зосереджується на дослідженні джерел, розподілу, транспортування та поглинанні чадного газу в тропосфері. Чадний газ, який викидається промисловими об'єктами, автомобільним транспортом та в результаті лісових пожеж перешкоджає природній здатності атмосфери позбавлятися шкідливих забруднювальних речовин [122].

1.2.4. Космічний датчик-радіометр AVHRR. Радіометр AVHRR (удосконалений радіометр надвисокого просторового розрізнення) – космічний датчик, що вимірює відбивну здатність Землі в 5 спектральних діапазонах, відносно широких за сучасними мірками. Прилади AVHRR діють або раніше були встановлені на полярно-орбітальних платформах (POES) Національного управління океанічних та атмосферних досліджень (NOAA) США та європейських супутниках MetOp. AVHRR здійснює вимірювання температури поверхні суходолу та моря (рис. 1.10), хмарності, снігового та льодового покриву, вологості ґрунту та індексів рослинності [74].

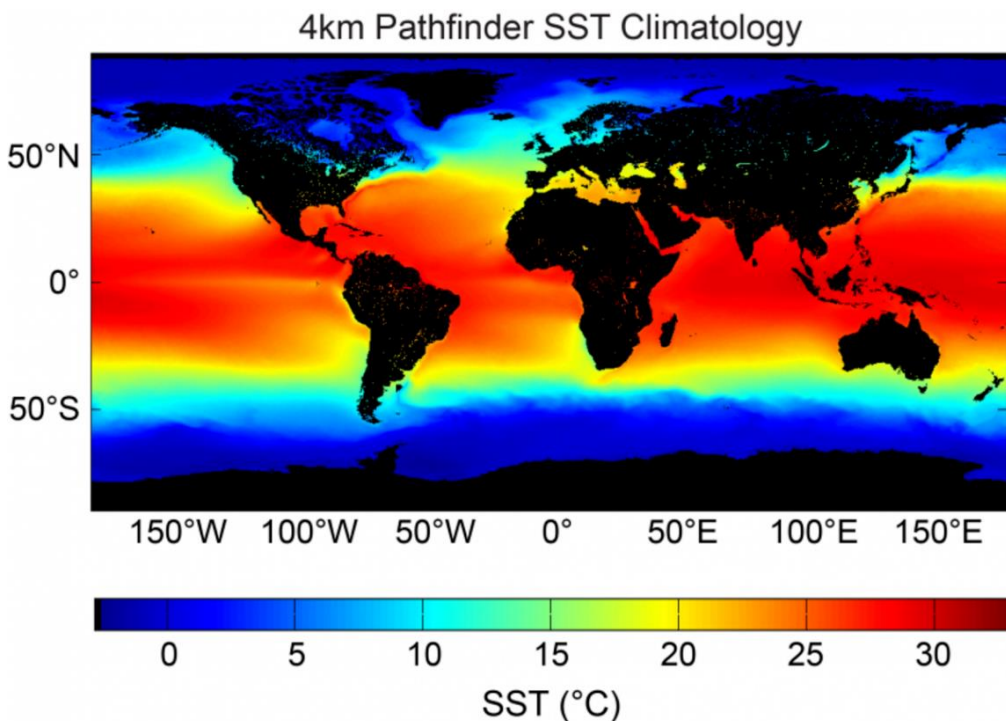


Рис. 1.10. Зображення глобальної температури поверхні Світового океану, отримане на основі даних супутника NOAA/AVHRR [115]

1.2.5. Репрезентативність космічних програм ДЗЗ. Отже, в залежності від мети та завдання дослідження по ДЗЗ доцільно обрати ту космічну програму, яка буде репрезентативною щодо даних для досліджуваної території. Варто зазначити, що аналіз наукових публікацій по

ДЗЗ у світі показав, що в цих публікаціях найбільше використано дані, отримані за космічною програмою Landsat (рис. 1.11). Наприклад, станом на лютий 2022 р. в наукометричній базі даних Google Scholar налічувалося 767 000 записів про публікації з ключовим словом Landsat, що в 1,5 рази більше, ніж кількість посилань на MODIS, у 5,5 разів більше, ніж на AVHRR, у 7,5 разів більше, ніж на SRTM, у 7,4 разів більше, ніж на ERS-1, та, принаймні на один порядок більше, ніж кількість опублікованих наукових праць із згадкою про будь-яку іншу космічну програму [128].

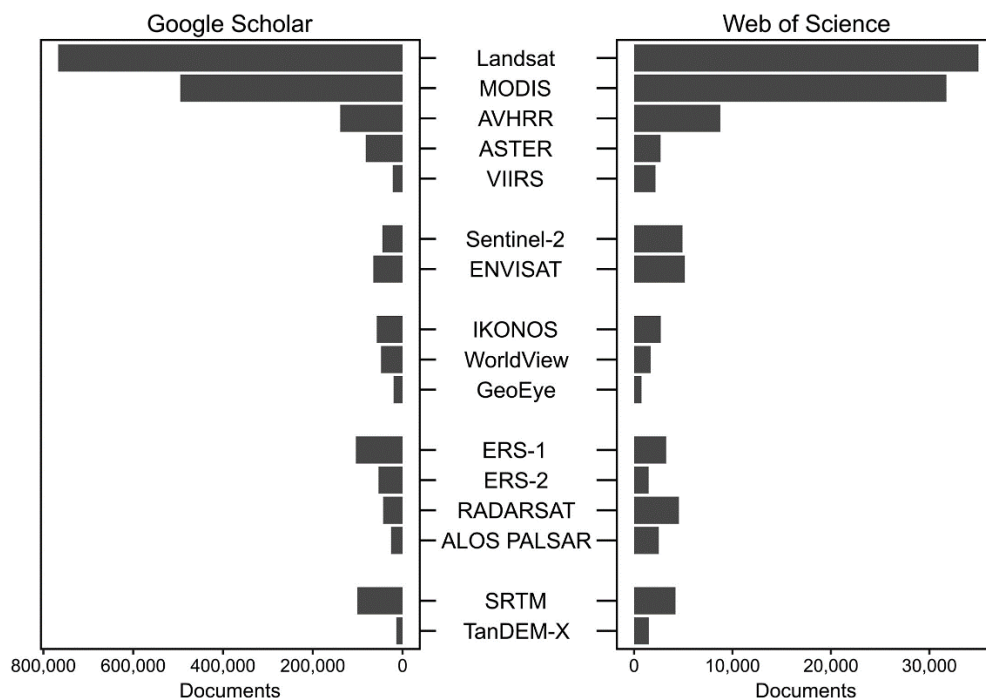


Рис. 1.11. Кількість публікацій з використанням даних різних космічних супутників згідно з Google Scholar (ліворуч) та Web of Science (праворуч) станом на 2022 р. [128]

1.3. Аналіз та обробка супутникових знімків. Застосування спектральних індексів для оцінки стану водних об'єктів

1.3.1. Програмне забезпечення для роботи з супутниковими знімками. Коротко про програмне забезпечення для роботи з супутниковими знімками: ArcGIS, QGIS, SNAP, ENVI, Google Earth Engine, ERDAS Imagine.

ArcGIS – комплекс геоінформаційних програмних продуктів американської компанії ESRI, які застосовуються для земельних кадастрів, у

завданнях із землеустрою, обліку об'єктів нерухомості, систем інженерних комунікацій, геодезії і користування надрами та інших областях [88].

QGIS – безкоштовне програмне забезпечення, яке дає можливість створювати, редагувати, візуалізувати, аналізувати та публікувати геопросторову інформацію, атласи, звіти з картами, медіафайлами та табличним матеріалом [111].

SNAP (Sentinel Application Platform) – безкоштовна платформа із загальною архітектурою для всіх інструментальних наборів Sentinel. Архітектура SNAP створена для обробки та аналізу даних спостережень за поверхнею Землі [119].

ENVI – стандартне програмне забезпечення для обробки та аналізу зображень та базова технологія, яку використовують для аналізу зображень фахівці з ГІС, науковці та установи по всьому світу для прийняття важливих рішень. Набір комплексних інструментів аналізу даних представлений у вигляді окремих завдань, які управляють різними етапами обробки зображень. Деякі з цих інструментів включають калібрування даних, попередню обробку, атмосферну корекцію, підвищення різкості панорамування зображень. ENVI можна використовувати для виявлення змін та аномалій, вимірювання та вилучення об'єктів, моделювання топографічних характеристик тощо [85].

Google Earth Engine – безкоштовна обчислювальна платформа, яка дозволяє користувачам виконувати геопросторовий аналіз в інфраструктурі Google. Дослідники використовують Earth Engine для виявлення змін, картографування тенденцій та кількісної оцінки відмінностей на поверхні Землі [106].

ERDAS Imagine – програма дистанційного зондування, яка дозволяє користувачам обробляти та аналізувати геопросторові дані. Вона широко використовується в сільському та лісовому господарстві, моніторингу навколишнього середовища та міському плануванні. ERDAS Imagine надає широкий спектр інструментів для обробки зображень, просторового моделювання та візуалізації даних [87].

Таким чином, вибір програмного забезпечення для дистанційного зондування має важливе значення для ефективної обробки та аналізу супутникових знімків. Звісно існує багато переваг та недоліків у використанні тих чи інших програм.

Безкоштовні програми, такі як QGIS, SNAP та Google Earth Engine містять в собі інструменти для швидкої обробки та спектрального аналізу, класифікації зображень, виявлення змін земної поверхні та мають спрощену архітектуру, що не потребує професійних навичок користувача. Комерційні програми ArcGis, ENVI та ERDAS Imagine пропонують ширше коло функцій і спрямовані на професійне використання. Але, перш за все, вибір програмного забезпечення в дослідженні залежить від поставлених завдань

для отримання ґрунтовних результатів та прийняття рішень на основі максимального використання даного програмного забезпечення.

1.3.2. Аналіз та обробка супутникових знімків. Процес аналізу та обробки супутникових знімків складається з таких етапів: пошук та відбір супутникової інформації, формування бази даних; попередня обробка інформації; аналіз зображення.

Виділимо основні критерії, при виборі супутникової інформації для проведення моніторингу стану водних об'єктів за допомогою ДЗЗ:

- відсутність хмарності на даній території;
- відсутність шуму при скануванні поверхні Землі;
- розміщення досліджуваної території ближче до центру сканування на знімку.

Попередня обробка інформації складається з:

- радіометричної корекції, що включає переведення значень пікселів з безрозмірних величин в альbedo;
- геометричної корекції знімків, що передбачає ортотрансформування з урахуванням цифрової моделі рельєфу місцевості SRTM.

Пошук та відбір супутникових даних зумовлюються передусім метою дослідження. У випадку дослідження водного об'єкта в період з березня по квітень доцільно здійснювати моніторинг танення льоду. Влітку, починаючи з липня, можливе виявлення явища «цвітіння води», тоді як у серпні спостерігається тенденція до зниження прозорості водного середовища. Наявність хмар на супутникових знімках значно обмежує можливості оптичного дистанційного зондування Землі (рис. 1.12).

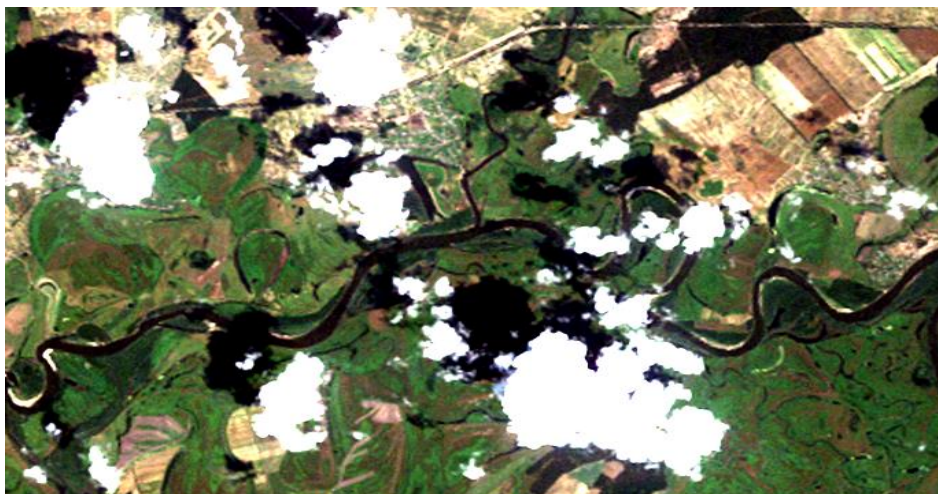


Рис. 1.12. Наявність білих купчастих хмар обмежує можливості дослідження за допомогою ДЗЗ. Фрагмент супутникового зображення Landsat 5, 29.06.1999 р., розрізнення 0,46 м

Оскільки хмари закривають поверхню Землі, що ускладнює або й унеможлиблює проведення точного аналізу. За оцінками, понад 60 % знімків Landsat можуть бути частково або повністю закриті хмарами, що суттєво впливає на якість даних. Через це виникають труднощі з визначенням типів ґрунтового покриття, спостереженням за станом рослинності, водних об'єктів тощо. [131].

Окрім хмарності, на якість супутникових даних впливає шум, що може виникати через атмосферні умови, технічні обмеження сенсорів або обробку сигналу (рис. 1.13). Як зазначається, навіть незначні спотворення можуть суттєво знизити точність подальшого аналізу – зокрема, при розрахунку вегетаційних індексів, таких як NDVI, або створенні цифрових моделей рельєфу [117].



Рис. 1.13. Фрагмент супутникового зображення Landsat 7 з шумом (дефектом) при скануванні поверхні Землі від 23.05.2006 р.

При цьому, виконується попередня обробка зображень, яка складається з декількох етапів: геометричної корекції та просторової прив'язки, радіометричного калібрування та атмосферної корекції (рис. 1.14).

Досить часто через форму земної поверхні, атмосферні зміни та сезонні коливання на зображенні, отриманому платформою дистанційного зондування, наявні геометричні та радіометричні недоліки або похибки. Тому необроблені дані, отримані датчиками дистанційного зондування, вимагають виправлення помилок перед їх використанням. Атмосфера впливає на оптичне випромінювання двома способами: розсіюванням і поглинанням. Проте ці процеси є складними та змінюються в залежності від простору і часу. Обидва процеси залежать від довжини хвилі. Розсіювання відбувається, коли випромінювання відбивається або заломлюється

атмосферними частинками. Прикладами частинок, що спричиняють розсіювання, є молекули газів, частинки пилу та молекули води.



Рис. 1.14. Попередня обробка зображення наслідків руйнації очисних споруд каналізації м. Василівка Запорізької області під час російсько-української війни: первинний знімок (А); опрацьований знімок (Б). За даними Sentinel-2 L2A від 28.03.2022 р.

Розсіювання є перенаправленням енергії та зазвичай поділяється на три категорії залежно від розміру частинок, тому відсутність ідеальної атмосфери та умов навколишнього середовища є причиною радіометричних недоліків у зображенні дистанційного зондування [98].

Несправність датчика також призводить до радіометричних похибок. Геометричне спотворення викликає зміщення кожного дистанційного сканування із супутника. Однак перший піксель у кожному рядку, здається, вирівняний з іншими початковими пікселями [127]. Корекції, що застосовуються для усунення спотворень, пов'язаних з рельєфом місцевості, відносний рух між датчиком та Землею, положення супутника та коливання висоти, класифікуються як геометричні корекції [98]. Досить важливо при використанні супутникових знімків приділяти увагу їхньому просторовому розрізненню.

Як відомо, найважливішими характеристиками знімка є просторова, радіометрична, спектральна та часова розрізненості. Ці параметри

визначають можливості дешифрування на космічних знімках різних об'єктів і розв'язання тих завдань, які є доцільними [18].

Просторова розрізненість (на місцевості) – характеристика зображення, створювана видовим технічним засобом ДЗЗ, яку визначає розмір найменшого компактного об'єкта або ширина видовженого об'єкта певного контрасту, який можна визначити (розрізнити) на цьому зображенні із заданою імовірністю [18].

На рис. 1.15 наведено приклад, що ілюструє різницю в розрізненні пікселів на знімку, зробленому Landsat-8.

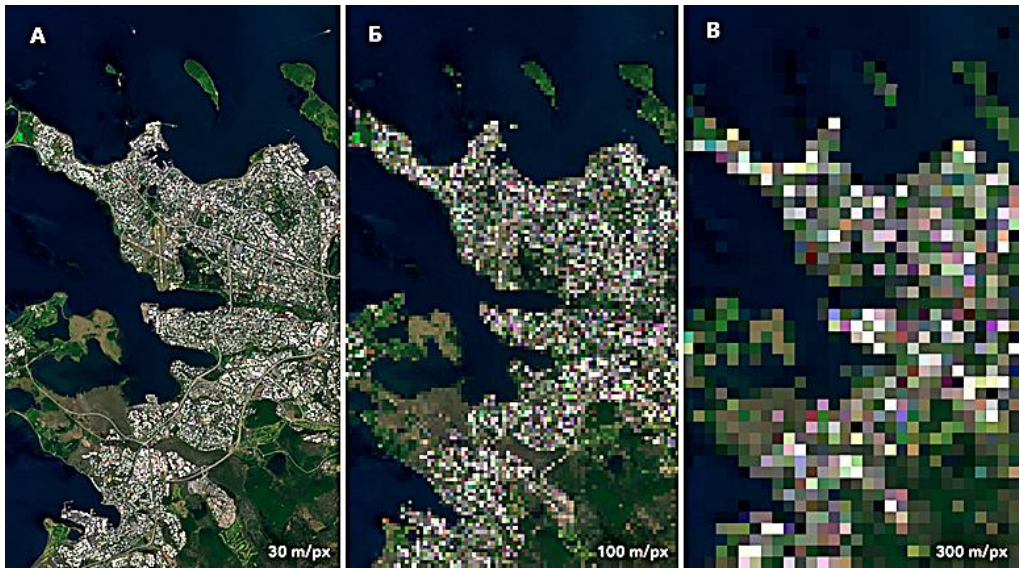


Рис. 1.15. Різниця в просторовому розрізненні пікселів на супутниковому зображенні: А) 30 м/рх; Б) 100 м/рх; В) 300 м/рх. За даними Landsat-8 від 07.07.2019 р. Рейк'явік, Ісландія, Обсерваторія Землі NASA [113]

Також виникають помилки при розпізнаванні зображення, які пов'язані з двома основними причинами. Перша з них – зіставлення при вивченні багаторічної динаміки знімків, що зафіксували різні сезонні стани ландшафту.

У деяких випадках внутрішньорічні зміни в площі об'єктів можуть перевищувати довготривалі, за десятки років. Так, до суттєвих помилок при вивченні річкового басейну може призвести зіставлення знімків, зроблених під час весняної повені з отриманими в межень. А при визначенні меж зледеніння – знімків із зображенням сезонного снігового покриву. Виявлення і узгодження сезонних змін географічних об'єктів – необхідна умова отримання достовірних даних про багаторічні зміни.

Друга причина появи помилкових змін – неминучі «технічні» похибки в положенні меж об'єктів дешифрування на різночасових зображеннях.

Похибку суміщення можна звести до мінімуму, якщо знімки отримані однією і тією ж або аналогічною знімальною системою, а при взаємному координуванні, як опорні використовувалися ідентичні точки. Точність положення контурів в такому випадку залежить від розміру пікселя і точності визначення просторових координат опорних точок. Наприклад, при розмірі пікселя різночасових знімків 30 м похибка їх зіставлення без урахування геометричного узгодження складе 45 м. Похибка геометричного узгодження – не менш одного пікселя, тобто зміни в площі навіть в ідеальному випадку можна визначити не точніше 1 га. Помилкові зміни, виражені в зміні площі об'єктів, при безпосередньому зіставленні растрових зображень виявити важко або навіть неможливо.

При зіставленні різночасових перехідних карт у векторному форматі, крім похибок геометричних перетворень вихідних аерокосмічних даних, неминуче виникають похибки оцифрування. Положення від дешифрованих (оцифрованих) контурів в певній мірі суб'єктивні внаслідок того, що для багатьох природних об'єктів чіткі межі нетипові, їм більше властиві поступові переходи. При зіставленні складених незалежно одна від одної карт через неоднозначне проведення кордонів, відбору дрібних деталей на кожній з них з'являються контури помилкових змін. На відміну від ситуації з растровими моделями, на зображеннях, отриманих в результаті накладання векторних карт, помилкові зміни визначити значно легше. Їх можна виявити як на самому зображенні, так і при смисловому аналізі таблиці переходів.

При використанні цифрових методів можливі різні варіанти виявлення «зайвих» контурів: пошук на гістограмі об'єктів розміром менше, виявлення свідомо неможливих змін тощо. Уникнути помилкових змін або, принаймні, звести до мінімуму їх число можна, якщо пов'язати між собою зіставлені різночасові карти.

Послідовне зіставлення різночасових карт – один з можливих методичних прийомів. Сенс його полягає в положенні векторного зображення, що відноситься до одного з моментів спостереження, на знімку (растровому зображенні), що відноситься до наступного моменту. Якщо межі на двох зображеннях співпадають або розходяться не більше ніж на число пікселів, що відповідає точності вихідних даних, положення векторних меж не змінюється. Якщо розбіжність перевищує допуск, проводиться нова межа. Аналогічна процедура виконується і для інших видів спостережень.

1.3.3. Дешифрування зображень. Розпізнавання об'єктів за супутниковими знімками вимагає знань і навичок дешифрування, оскільки відображаються лише певні властивості об'єктів у певний момент часу, дрібні деталі відсутні, зображення об'єкта є мінливим, відображуються об'єкти великого розміру, незвичні для зору. Дешифрування зображень – основне завдання при використанні знімків для географічних досліджень, яке

містить: розпізнавання об'єктів (виявлення об'єктів на знімку) і віднесення їх до певного типу. Вимірювання – визначення розмірів, відстаней між об'єктами, кількості об'єктів на одиницю площі та ін. [42].

Дешифрування зображень водних об'єктів. Варто зупинитися на огляді дешифрування водних об'єктів на супутникових знімках, що складаються з *прямих* і *непрямих* дешифрувальних ознак.

Прямі дешифрувальні ознаки властиві практично всім об'єктам місцевості, що зображуються на знімках даного масштабу. Вони характеризують об'єкт безпосередньо і включають форму, розмір, тон, колір, тінь, структуру та ін. [41].

Прямі ознаки – це основа дешифрування, до них відносять форму, колір та тон. За цими ознаками легко можна розрізнити об'єкти та їх форму. Але не завжди виходить охарактеризувати їх властивості. Прикладом прямого дешифрування може бути витягнута, блакитнувата або біла лінія водних об'єктів, округлі форми островів або наносів. Важко розпізнаються на знімках руслові процеси, тому їх можна дослідити за допомогою непрямих дешифрувальних ознак. В якості непрямих ознак зазвичай виступають прямі дешифрувальні ознаки інших об'єктів – індикаторів [41].

Водні об'єкти розпізнаються за прямими ознаками при дешифруванні на будь-яких панхроматичних зображеннях за формою та розміром. Крім того, з глибиною тон зображення водного об'єкта варіюється від світлішого до темного в залежності від особливості дна (кам'янисте, піщане, торф'яне).

Озера та штучні водні об'єкти на супутникових зображеннях мають вигляд однотонних поверхонь з обмеженою замкнутою лінією (рис. 1.16).



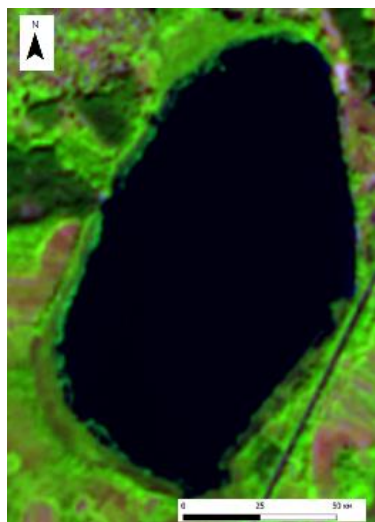
Рис. 1.16. Приклад зображення озера Світязь (Шацькі озера) на супутниковому знімку Sentinel-2 від 22.06.2022 р.

Щодо річок, то на супутникових знімках вони зображені у вигляді смуг, які в'ються і мають різну товщину (рис. 1.17).



Рис. 1.17. Приклад зображення річок на супутниковому знімку Landsat-8 від 18.05.2013 р.

Рослинність в межах водних об'єктів та навколо них не має якихось чітких розмежувальних ліній. Тому часто досить важко відокремити акваторію водного об'єкта та рослинність (рис. 1.18).



А



Б

Рис. 1.18. Супутниковий знімок з наявністю рослинності в межах водного об'єкта та навколо нього (А) та приклад обробленого супутникового знімка (Б) Sentinel-2 із синтезом каналів 11, 8, 4 від 30.08.2017 р.

За даними зображення озера Світязь на фрагменті супутникового знімку у синтезі SWIR-NIR-RED каналів також виявлено зміни прозорості природної водойми внаслідок заростання акваторії водно-болотною рослинністю (рис. 1.19).

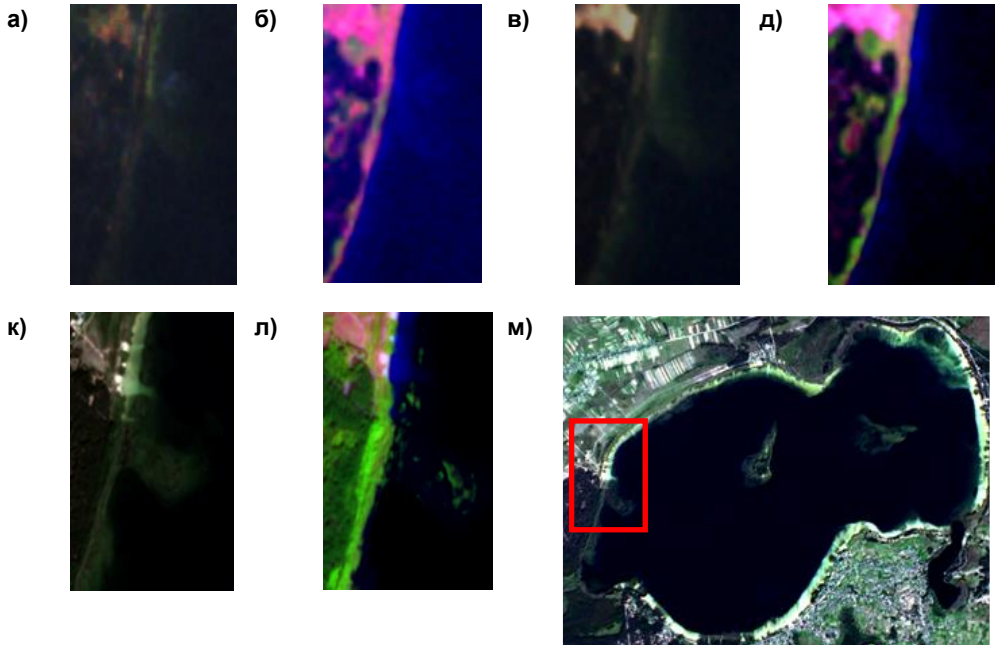


Рис. 1.19. Зображення озера Світязь (Шацькі озера) на фрагментах супутникових знімків за 1985 р., 1990 р. та 2017 р.: а) супутникове зображення в природних кольорах за 1985 р.; б) супутникове зображення в синтезі SWIR-NIR-RED каналів за 1985 р.; в) супутникове зображення в природних кольорах за 1990 р.; д) супутникове зображення в синтезі SWIR-NIR-RED каналів за 1990 р.; е) супутникове зображення в природних кольорах за 2017 р.; ф) супутникове зображення в синтезі SWIR-NIR-RED каналів за 1990 р.; г) озеро Світязь з виокремленим місцем дослідження на фрагменті космічного знімку Sentinel-2 L2A станом на 15.07.2021 р.

При порівнянні супутникових зображень (див. рис. 1.19) видно, що в 1985 р. проявляється незначна зміна прозорості на фрагменті супутникового знімку. Натомість, в 1990 р. спостерігаємо заростання частини акваторії озера водно-болотною рослинністю, а в 2017 р. вже виділяються окремі «острівки» зеленого кольору, що свідчить про наявність рослинності.

Отже, за допомогою супутникових знімків можна простежити інтенсивність заростання рослинністю акваторії будь-якого озера.

Для виокремлення берегової лінії або мілководної частини озера від суходолу, а також рослинності в межах водного об'єкта, дешифруються знімки, виконані в ближній інфрачервоній зоні електромагнітного спектра. На них відкрита водна поверхня має найбільш інтенсивний темний фототон.

За допомогою космічних знімків можна простежити процеси, які відбуваються у водному об'єкті. Так, вода в озерах ніколи не буває абсолютно чистою. Крім розчинених солей, у ній завжди є завислі мінеральні частинки, мікроорганізми, рештки планктону, речовини в колоїдному стані. Усі ці розчинені й завислі речовини затримують частину світла, яке потрапляє у воду. Тому до глибинних шарів доходить світла менше, ніж у верхні. Завислі у воді частинки розсіюють і поглинають світло інтенсивніше, ніж молекули чистої води. Вода, насичена завислими частинками, поглинає насамперед сині промені, а вглиб проникають зелені промені. Збільшення каламутності спричиняє зміну кольору води. При великій кількості наносів інтенсивно розсіюються не тільки сині, а й зелені промені, частка їх у світлі, що виходить із води, збільшується, і вода набуває синьо-зеленого кольору. При ще більшому зниженні прозорості починає розсіюватись і червона частина спектра, вода стає жовтого або бурого кольору [60].

Крім того, завислі наноси, планктон, рослинність, що є у воді, надають воді певного кольору залежно від їхнього забарвлення. Дуже змінюють колір води гумінові речовини, яких багато в озерах зони лісів. Іноді проникнення світла вглиб озера обмежується кількома метрами [60].

Супутникові зображення вимірюють коефіцієнт відбиття водного об'єкта, надаючи інформацію про колір води (на основі інтенсивності світла). Колір «цвітіння» фітопланктону на зображеннях залежить від пігментів, які містяться в певному типі водоростей, і від того, на якій довжині хвилі ці пігменти відбивають або поглинають промені (рис. 1.20).

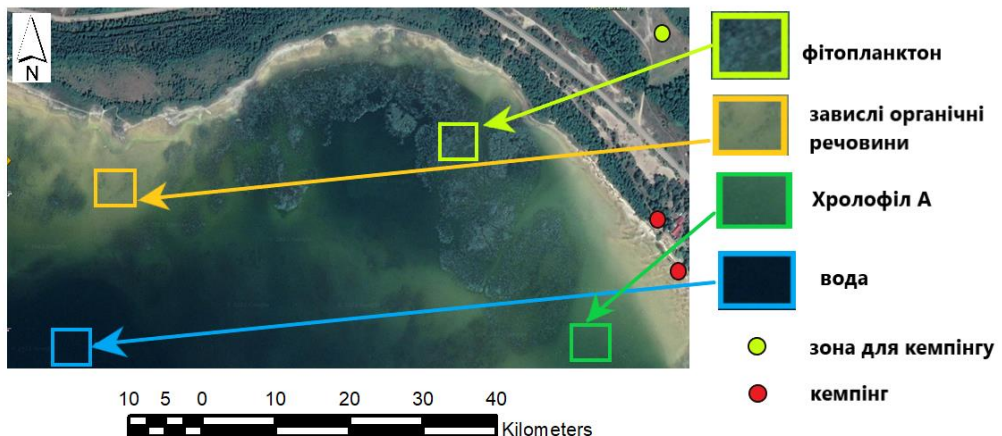


Рис. 1.20. Оптичні властивості і колір води в озері Світязь [75]

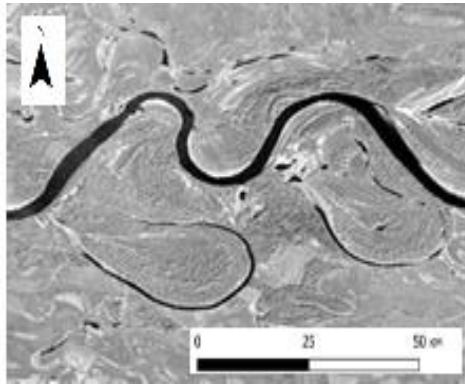
Хлорофіл А – домінуючий пігмент водоростей, який відбивається в зеленому спектрі, що робить його зеленим для людського ока.

Непрямі дешифрувальні ознаки виникають із закономірностей взаємного розташування об'єктів місцевості через природні умови, їх призначення, господарське використання та ін.

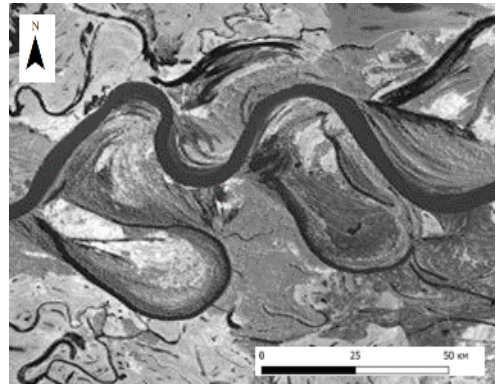
До непрямих ознак належать існуючий в природі взаємозв'язок і той, що відобразився на знімках, взаємозалежність або взаємообумовленість різних об'єктів і явищ і супутніх їм характеристик. Прикладом цього може бути зміна прибережної території водних об'єктів внаслідок проявів екзогенних геоморфологічних процесів (абразія, акумуляція, зсуви, руслова ерозія тощо) та антропогенної діяльності (будівництво, ведення сільського господарства).

Для визначення контуру водних об'єктів прибережної території, здебільшого використовують панхроматичну зйомку. Знімки із супутника за якістю та охопленням території дають об'єктивну та достовірну інформацію про територію обстеження з виокремленням на них водних об'єктів.

Як приклад, на рис. 1.21 наведено результати моніторингу розмивів правого берега р. Десна на північно-східній околиці с. Макошине Чернігівської обл. Для спостереження за зміною прибережної території Десни було використано панхроматичні космічні знімки супутника WorldView (07.08.2012 р. та 19.05.2013 р.) з просторовим розрізненням 0,45 м.



07.08.2012 р.



19.05.2013 р.

Рис. 1.21. Супутникові знімки Landsat 7, що ілюструють зміни прибережної території р. Десна біля с. Макошине Чернігівської області

На рис. 1.21 видно, що в 2012 р. прибережна територія Десни практично не змінювалася. За результатами аналізу супутникового зображення за 2013 р., встановлено, що відбувся поступовий намів правого берега в сторону майже на 10 м, що стало наслідком перетікання води по старому руслу Десни. Наведені дані про зміну прибережної території Десни підтверджуються натурними спостереженнями державного моніторингу вод [15]. Тому вони можуть використовуватися при плануванні та реалізації протиаводкових заходів для захисту населення і територій.

1.3.4. Спектральні індекси для оцінювання стану водних об'єктів

Аналіз публікацій показує, що при оцінюванні стану водних об'єктів з використанням ГІС та ДЗЗ достатнього поширення набули методики з використанням спектральних індексів.

Найбільше поширення набули індекси NDPI (Normalized Difference Pond Index); SABI (Surface Algal Bloom Index); NDWI (Normalized Difference Water Index); NDTI (Normalized Difference Turbidity Index).

Для вивчення невеликих водойм з рослинністю (озера, ставки) застосовують індекс NDPI (нормалізований різницевий індекс ставків). Алгоритм індексу NDPI був розроблений J.P. Lacaux в 2006 р. [97]. Індекс NDPI виражається через коефіцієнти короткохвильового інфрачервоного (SWIR) та зеленого (Green) спектральних каналів (1.1):

$$NDPI = (R_{GREEN} - R_{SWIR}) / (R_{GREEN} + R_{SWIR}), \quad (1.1)$$

де R_{GREEN} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від зеленого спектрального каналу; R_{SWIR} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від короткохвильового інфрачервоного спектрального каналу.

Значення індексу NDPI для води повинно мати від'ємне значення, діапазон індексу становить від – 0,5 до + 0,5. Межі значення індексу NDPI можуть змінюватися через різні атмосферні впливи.

Приклад застосування індексу NDPI для розпізнавання водних об'єктів у басейні Десни наведено на рис. 1.22.

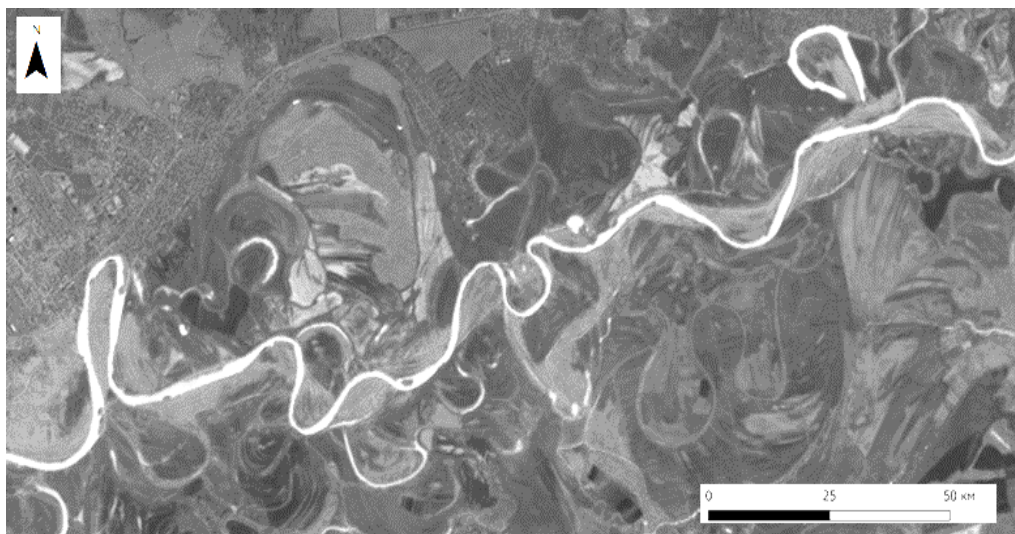


Рис. 1.22. Результати розпізнавання водних об'єктів на космічних знімках за допомогою індексу NDPI на прикладі басейну Десни в Чернігівській області на супутниковому знімку Sentinel-2 L2A за 29.08.2019 р.

Для оцінювання фотосинтетичної діяльності у водних об'єктах та антропогенного впливу на них використовують спектральний індекс – SABI (індекс поверхневого цвітіння водоростей).

Алгоритм SABI розроблений з метою виявлення у воді біомаси водоростей, які розташовані на поверхні водного об'єкта та реагують на ближній інфрачервоний спектральний канал (NIR), як і рослинність на земній поверхні [89]. Спектральні канали є досить чутливими до змін, які відбуваються в поверхневих водах. Так, блакитний спектральний канал характерний для поверхні чистої води, а зелений спектральний канал характерний для води, що «цвіте» (1.2):

$$SABI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{BLUE} + R_{GREEN}), \quad (1.2)$$

де R_{NIR} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від ближнього інфрачервоного спектрального каналу; R_{RED} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від червоного спектрального каналу; R_{BLUE} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від блакитного спектрального каналу; R_{GREEN} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від зеленого спектрального каналу.

Приклад застосування індексу SABI для виявлення «цвітіння води» у Жовтому морі наведено на рис. 1.23.

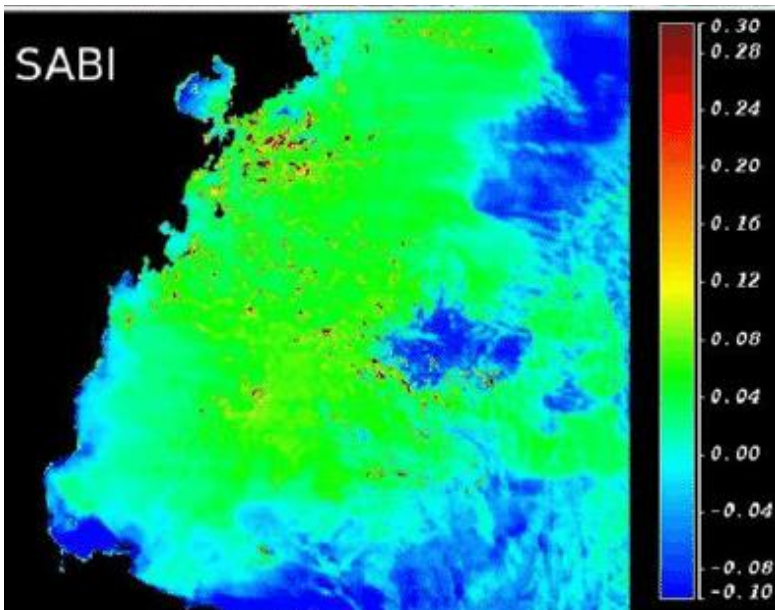


Рис. 1.23. Приклад застосування індексу SABI для виявлення «цвітіння води» у Жовтому морі (спутник Terra, 25.06.2008 р.) [89]

SABI дуже стійкий проти сонячного блиску, а також низки оптичних джерел розсіювання в атмосфері та прозорості води. Діапазон індексу SABI становить від $-0,1$ до $+0,3$. Додатні значення індексу SABI є відносним показником фотосинтетичної активності, характерної для водоростей.

Досить відомим методом вивчення сезонної та багаторічної динаміки стану водних об'єктів на мультиспектральних зображеннях є алгоритм, заснований на спектральному індексі води – NDWI (нормалізований різницевий водний індекс), запропонований В.С. Gao в 1995 р. [90]. Обчислення NDWI ґрунтується на відношенні різниці та суми зеленого та ближнього інфрачервоного спектрального каналу й визначається за формулою (1.3):

$$NDWI = (R_{GREEN} - R_{NIR}) / (R_{GREEN} + R_{NIR}), \quad (1.3)$$

де R_{GREEN} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від зеленого спектрального каналу, R_{NIR} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від ближнього інфрачервоного спектрального каналу.

NDWI посилює контраст між водними поверхнями та територіями, не покритими водою. Відомо, що водним об'єктам відповідають додатні значення цього індексу, а решті – від'ємні та найчастіше оптимальний поріг відмінний від нуля.

Вивчення багаторічної динаміки «цвітіння води» на поверхні озер було здійснено за допомогою індексу NDTI (нормалізований диференційний індекс каламутності) [97]. Алгоритм індексу NDTI визначається за формулою (1.4):

$$NDTI = (R_{RED} - R_{GREEN}) / (R_{RED} + R_{GREEN}), \quad (1.4)$$

де R_{RED} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від червоного спектрального каналу, R_{GREEN} – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання від зеленого спектрального каналу.

Коефіцієнт пропуску у видимій частині діапазону спектра для води знижується при збільшенні кількості водної рослинності в межах озера і тим самим впливає на значення індексу NDTI. Чим більший індекс, тим більша площа поширення «цвітіння води» в озері. Довжина хвиль коливається в межах між 600-800 нм. Причинами «цвітіння води» в озері можуть бути як природні фактори, так і антропогенна діяльність людини на водозборі та надходження забруднювальних речовин.

Таким чином, спектральні індекси ДЗЗ широко використовуються для оцінки стану водойм. Вони дозволяють аналізувати різні параметри, такі як концентрація хлорофілу, каламутність води, наявність водоростей, «цвітіння

води» та ін. За допомогою цих індексів можна здійснювати моніторинг зміни в екосистемах водойм, виявляти забруднення та оцінювати вплив антропогенного фактору. Різні індекси чутливі до різних аспектів якості води, тому їх комбіноване використання дає найбільш повну картину стану водойми. Це дозволяє проводити регулярний дистанційний моніторинг, що є важливим для управління та охорони водних ресурсів.

1.4. Напрями застосування засобів ГІС та ДЗЗ для оцінки стану поверхневих вод

Дистанційне зондування – це можливість дослідити об’єкт без фізичного впливу (контакту) з ним. Сучасні підходи застосування ГІС та ДЗЗ в моделюванні та прогнозуванні стану водних об’єктів дають можливість вирішити складні завдання, які виникають при моделюванні геологічних та гідрологічних процесів, оцінюванні та прогнозуванні їхнього стану, інтерпретації отриманих результатів дослідження, тощо [110].

Геоінформаційна система (ГІС) – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, що створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних [20].

Супутниковий знімок в наш час містить в собі величезну кількість інформації: від гідроморфологічних характеристик поверхневих вод до даних про їхню якість, яку визначають за допомогою спектральних індексів і засобів ДЗЗ та ГІС.

Саме отримання нових даних при застосуванні засобів ГІС та ДЗЗ спричинило використання їх у вирішенні певних завдань з геології, гідрології та геологічної інформатики, оскільки ГІС є потужним інструментальним засобом вирішення завдань пов’язаних з просторовим представленням природних об’єктів. Одна з таких можливостей ГІС пов’язана з оцінюванням гідрологічних параметрів на основі аналізу карти рельєфу і прив’язаної до ландшафту різноманітної растрової і векторної інформації. Крім цього, ГІС дає можливість моделювати надходження забруднювальних речовин до поверхневих вод.

Основні характеристики, що реєструються під час дистанційного зондування водних об’єктів, зводяться до таких груп [72]:

- 1) параметри поверхневого хвилювання й змінення гідродинамічних характеристик водного середовища;
- 2) змінення рівня водойм, що пов’язані із синоптичною мінливістю й господарською діяльністю людини;
- 3) характеристики льодових полів;
- 4) варіації полів температури в межах течії та їх локальних змін;

- 5) площі нафтових плівок і плівок поверхнево-активних речовин;
- 6) змінення фізико-хімічних характеристик водного середовища;
- 7) змінення оптичних характеристик водойм через варіацію завислих і розчинених у воді органічних речовин;
- 8) змінення стану фітопланктону, що приводить до зміни спектральних характеристик і сигналів флуоресценції;
- 9) трофічний стан озер, водойм і прибережних зон морів.

Методи ДЗЗ, перш за все, дають можливість застосовувати превентивні заходи щодо виявлення негативного впливу з боку людини, а також послідовного моніторингу за природними змінами у водних об'єктах з плином часу. Зокрема, виявлення «цвітіння води» (рис. 1.24), як візуально за допомогою супутникових знімків, так і більш детально з використанням спектральних індексів.



Рис. 1.24. «Цвітіння води» в озері Вінніпег (Канада) на супутниковому зображенні Landsat 9 – OLI-2 від 25 вересня 2023 р. [84]

На рис. 1.24 зображено поверхню озера Вінніпег (Канада), яке є 10-тим прісноводним озером за площею водного дзеркала у світі. Спостереження за «цвітінням води» в ньому виконуються з 1990 р. Вважається, що надмірне «цвітіння води» в озері Вінніпег пов'язане з надходженням високих концентрацій сполук фосфору та азоту з водозбору. Так річкові води приток, що впадають в озеро, впливають на зміну концентрації біогенних речовин у самій водоймі [121].

На сьогодні можливість ретроспективного аналізу даних ДЗЗ досить велика, оскільки є можливість використовувати дані з різних супутників за великий проміжок часу, що досить є корисним в дослідженні та проведенні моніторингу не тільки водних об'єктів, а й прибережної території (рис. 1.25).

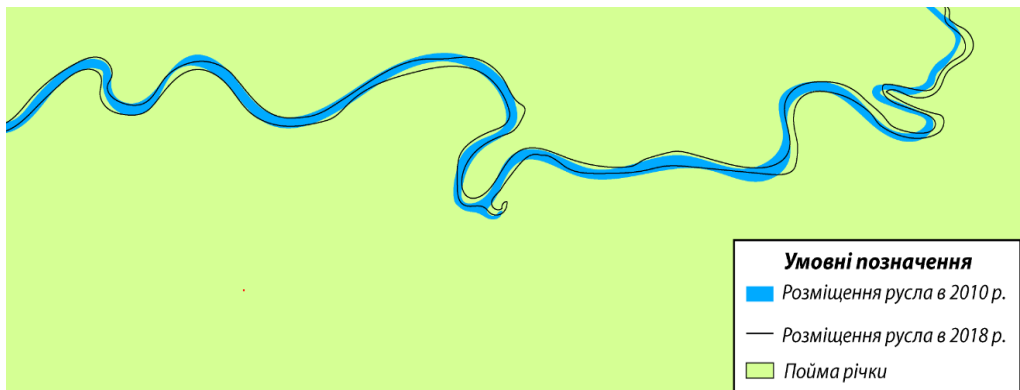


Рис. 1.25. Меандрування р. Десна біля селища Макошине, Чернігівської області – за даними панхроматичних космічних знімків супутника WorldView (07.05.2010 р. та 19.05.2018 р.)

Моделювання затоплень території в періоди весняної повені на річці дає можливість оцінки загальної геоecологічної ситуації, пов'язаної з інженерно-гідрологічними особливостями території. Оцінювання ризику затоплення території дозволяє планувати раціональне використання приурядованих територій, що сприяє їх сталому розвитку [19].

Також, ГІС та ДЗЗ дає можливість здійснити оцінювання просторово-часових змін під час повеней, виявлення сезонних або довгострокових трендів збільшення або зменшення площ водних об'єктів (рис. 1.26).

Крім того, в зону затоплення можуть потрапляти житлові будинки і виробничі споруди, що призводить до значних матеріальних збитків. У зв'язку з цим велике практичне значення має визначення зон можливого затоплення і складання переліків об'єктів, які можуть бути затоплені з різною ймовірністю. Оскільки величина зони затоплення залежить від двох змінних – рельєфу і гідрологічних показників водного об'єкта, тому на першому етапі важливо провести аналіз рельєфу досліджуваної території. На другому етапі

для моделювання зони затоплення необхідно мати дані про основні гідрологічні показники досліджуваного водотоку (режим рівнів та витрат води тощо), після чого виконується розрахунок параметрів моделі. Третім етапом є безпосередньо моделювання за одержаними розрахунковими даними. Заключна частина роботи являє собою аналіз моделі зони можливого затоплення і виявлення наслідків підйому рівня води [19].

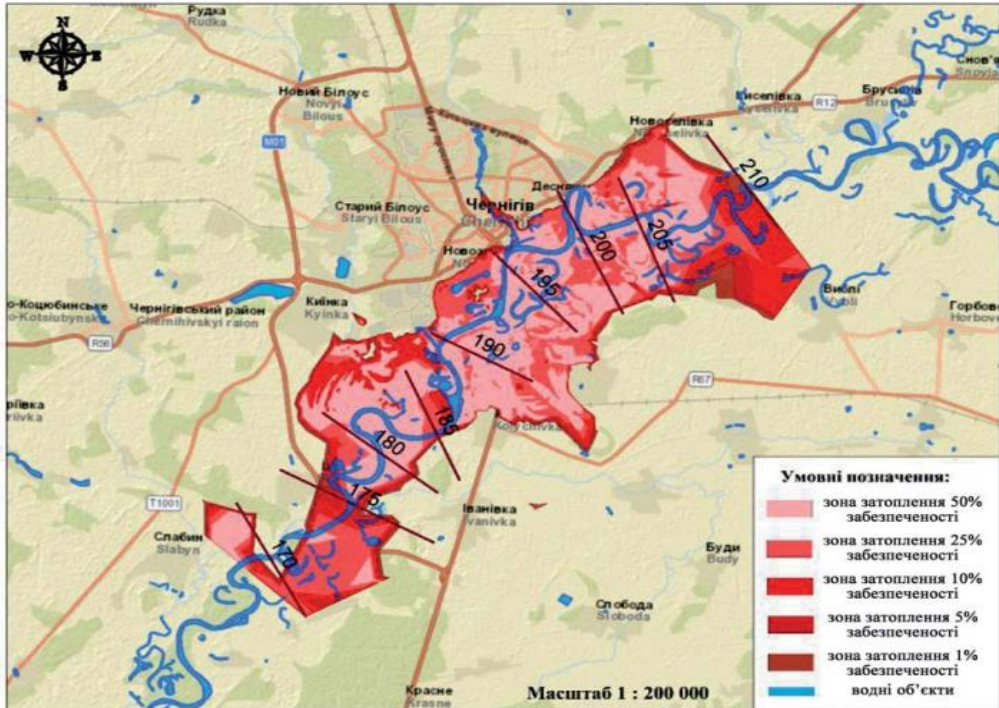


Рис. 1.26. Фрагмент сценаріїв прогнозування затоплень м. Чернігів та Чернігівського району водами р. Десна за різних умов забезпеченості стоку води [19]

На рис. 1.28 наведено фрагмент розроблених сценаріїв прогнозування затоплень м. Чернігів та Чернігівського району водами р. Десна за різних умов забезпеченості стоку води з можливістю візуального та розрахункового оцінювання площ і об'єктів при проходженні повеней різної забезпеченості, а також отримана інформація про будівлі та об'єкти комунальної власності, що потрапляють у розраховані зони затоплення [19].

Електронна карта з тематичними шарами зон затоплення має велике практичне значення. Вона дозволяє виконувати оцінку повеневої ситуації при проходженні високої води, а органам місцевого самоврядування, при виникненні загрози затоплення територій населених пунктів, приймати оперативні управлінські рішення з проведення попереджувальних протиповеневих та протипаводкових заходів [19].

Таким чином, наведене свідчить, що найбільш ефективною методологією для моделювання та прогнозування стану поверхневих вод є поєднання математичних моделей з ГІС, оскільки їх використання є надзвичайно корисним при калібруванні та перевірці математичних моделей, інтерпретації отриманих результатів оцінки та прогнозу стану поверхневих вод.

При вирішенні актуальних завдань, які стосуються стану поверхневих вод, особливо можна відзначити наступні:

- інвентаризація водних об'єктів;
- оцінка морфологічних змін на водних об'єктах (зміна обрисів русла річки, площі водного дзеркала водойми, ерозія берегів тощо);
- виявлення зон затоплення заплави річок під час весняної повені та паводків;
- оцінка території річкового басейну стосовно антропогенного навантаження (наявність точкових джерел забруднення, орієнтовні площі утворення дифузного забруднення);
- інвентаризація джерел забруднення поверхневих вод та їхній моніторинг;
- оцінка поширення забруднення по акваторії у місцях скидів стічних вод, особливо у випадках залпових скидів;
- оцінка процесів «цвітіння води» та евтрофікації водойм.

Традиційно моніторинг якості поверхневих вод здійснюється з відбором проб на окремих гідропостах та їхнім аналізом в лабораторіях. Отримані дані не охоплюють всю територію басейну річки. При використанні ДЗЗ можна розширити територію дослідження на безперервний довготривалий період моніторингу поверхневих вод. Існує можливість візуальної оцінки якісного стану поверхневих вод за окремими показниками такими показників, як каламутність, прозорість тощо. Так, за даними ДЗЗ досить легко розрізнити поверхневі води за їх трофністю, яке пов'язане з поширенням ціанобактерій та «цвітінням води».

Зі зростанням доступності даних ДЗЗ для фахівців і можливості широкого обстеження гідроморфологічних особливостей річкових систем у різних масштабах, від водозбору до окремих ділянок підвищився інтерес до використання результатів не тільки в наукових дослідженнях, а й підчас прийняття управлінських рішень.

Космічні знімки є інформативним джерелом для результатів наземних спостережень. Дані супутникового моніторингу характеризуються своєю актуальністю, оскільки дозволяють отримати детальну інформацію гідроморфологічної характеристики водних об'єктів у їх просторово-часовій динаміці.

Досить важливим є те, що зі зменшенням масштабу самих зображень обсяг інформації не скорочується, а трансформується, набуваючи при цьому

нової якості: формується інтегроване уявлення про водний об'єкт як єдину екосистему, водночас чіткіше виокремлюються його регіональні геологічні структурні компоненти. Завдяки цьому відкривається можливість отримання принципово нових відомостей, які не досить важко зафіксувати методами прямого натурного спостереження.

Разом з тим, дані та методи ДЗЗ мають ще такі переваги, як можливість: використання зображень для розроблення прогнозів та попереджень про потенційно небезпечні геологічні та гідрометеорологічні процеси в басейні (зсуви, селі), що може допомогти у прийнятті управлінських рішень; досягати віддалених місць і робити знімки з високим розрізненням; використання для визначення динаміки у відновленні території після надзвичайної ситуації на основі таких показників, як поява рослинного покриву там, де він був знищений, стан реконструкції пошкоджених об'єктів інфраструктури; отримання зображень під різними кутами.

На рис. 1.27 наведено зображення цифрової моделі рельєфу ділянки р. Південний Буг на Подільській височині, на якій видно, що спостерігається глибоке врізання річки в земну поверхню з утворенням вузької, місцями каньйоноподібної долини, витягнутої з півночі на південь.

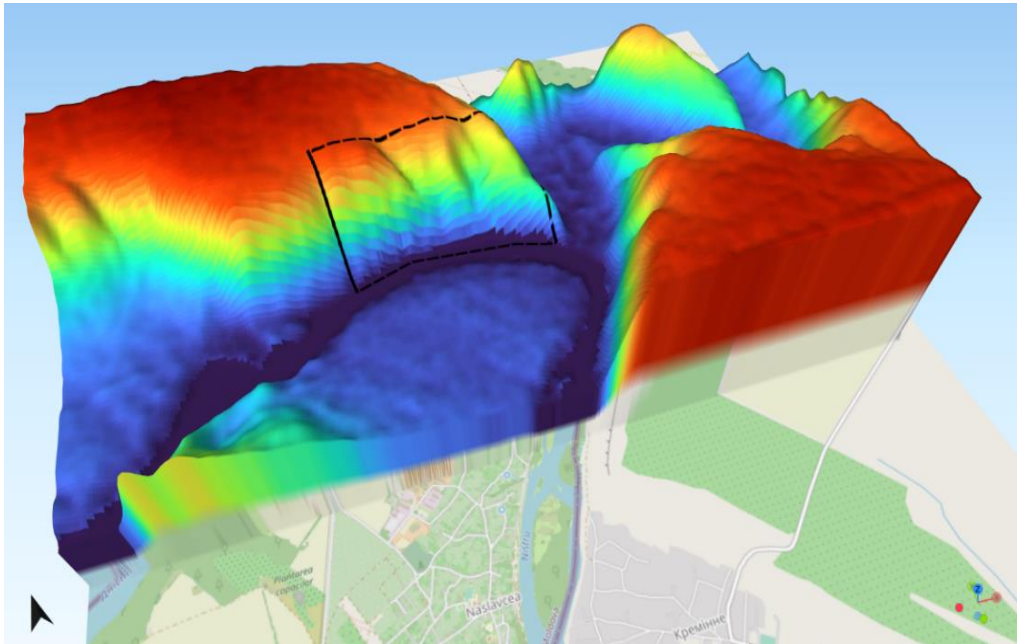


Рис. 1.27. Зображення цифрової моделі рельєфу ділянки р. Південний Буг на Подільській височині з утворенням каньйоноподібної долини (SRTM 30)

Аналізуючи отримані дані (див. рис. 1.27), було встановлено, що на цій ділянці долини р. Південний Буг спостерігається порушення стійкості схилів,

яке відбувається внаслідок перезволоження в період випадіння сильних атмосферних опадів, через що знижується їхній опір до зсувних процесів. Крім цього, велике значення має крутизна схилу та його геоморфологічний стан, а також зміна властивостей ґрунтів, що формують схил.

1.5. Гідроморфологічна оцінка водних об'єктів

1.5.1. Оцінка гідроморфологічного стану річок згідно положень Водної рамкової директиви ЄС. Оцінювання гідроморфологічних змін водних об'єктів є важливою складовою державного моніторингу вод [43]. Гідроморфологічні характеристики описують гідрологічну та морфологічну (геоморфологічну) будову водних об'єктів та процеси, які в них відбуваються. Вони включають показники неперервності русла річок (наявність перекатів, плес, перешкод), а також основні процеси, що формують їхній стан, такі як ерозія, акумуляція та перенесення наносів. Гідроморфологічні характеристики використовуються для оцінювання екологічного стану річок та інших водних об'єктів, а також для розробки заходів з їх відновлення. Зміни цих характеристик можуть істотно впливати на екосистему водних об'єктів, тому їх моніторинг та оцінювання мають важливе значення [34].

На сьогодні існує низка підходів до оцінювання гідроморфологічних змін водних об'єктів, серед яких виділяють:

- польові методи, які базуються на візуальному обстеженні, топографічних вимірюваннях та гідрологічних спостереженнях, що дає можливість визначення ступеню антропогенного впливу на водний об'єкт;
- моніторинг гідроморфологічних змін водних об'єктів за допомогою засобів ГІС та ДЗЗ. Цей підхід включає використання супутникових зображень та цифрових моделей рельєфу, що дозволяє простежити зміни в морфології русла та береговій лінії в динаміці, в тому числі на значних територіях та у ретроспективі;
- моделювання гідродинамічних процесів, яке передбачає застосування програмного забезпечення з метою прогнозування можливих змін у результаті антропогенних чи кліматичних впливів.

Підходи щодо визначення гідроморфологічного стану річок повинні мати чітку відповідність до Європейського стандарту CEN №14614, а також новому стандарту CEN TC 230/WG 2/TG 5: N5. Щодо гідроморфологічного стану озер, то вони регламентуються керівними європейськими стандартами: BS EN 16039:2011 – з оцінювання гідроморфологічних параметрів/ознак озер. BS EN 16870:2017 – з оцінювання гідроморфологічного стану озер [36].

Для країн ЄС оцінка гідроморфологічного стану річок складає інтегровану частину Водної рамкової директиви (ВРД) ЄС [14] є базовим

компонентом в дослідженні водних об'єктів, від якого залежать біотичні групи і функціонування в цілому річкової екосистеми [36].

Показники для поділу за типами категорій «річки» та «озера» наведені в табл .1.3 відповідно до Додатку 3 до Методики визначення масивів поверхневих та підземних вод [35].

Таблиця 1.3. Показники для поділу за типами категорій «річки» та «озера» [35]

Екорегіон	Категорія поверхневих вод	
	Річки	Озера
	Карпати Угорська низовина Понтійська провінція Східні рівнини	
Показники		
Тип	1. Висота водозбору, м: • середньогір'я: понад 800 • низькогір'я: від 500 до 800 • височина: від 200 до 500 • низовина: менше ніж 200	1. Висота водозбору, м: • середньогір'я: понад 800 • низькогір'я: від 500 до 800 • височина: від 200 до 500 • низовина: менше ніж 200
		2. Середня глибина, м: • мілке: менше ніж 3 • середнє за глибиною: 3-15 • глибоке: понад 15
	2. Площа водозбору, км ² : • мала: від 10 до 100 • середня: від 100 до 1 тис. • велика: від 1 тис. до 10 тис. • дуже велика: понад 10 тис.	3. Площа водного дзеркала, км ² : • мале: від 0,5 до 1 • середнє: від 1 до 10 • велике: від 10 до 100 • дуже велике: понад 100
	3. Гірські породи: • вапнякові • силікатні • органічні	4. Гірські породи: • вапнякові • силікатні • органічні

У контексті екологічної оцінки руслових процесів можна розглядати положення ВРД ЄС, які стосуються оцінки гідроморфологічної якості річок. Концептуально всі річки, згідно з ВРД, порівнюються з референційними (природними) умовами їх існування.

Залежно від видозмінності русел і заплав, а також характеристик потоку визначається клас гідроморфологічної якості, а саме: чим більше змін (антропогенних) порівняно з природними умовами, тим гірший клас.

Покращення класу гідроморфологічної якості річки є завданням управління в басейні річки взагалі і русловими процесами зокрема згідно з планом управління басейном річки [44].

Джерелами інформації для встановлення референційних умов слугують старі топографічні карти, космоснімки, архівні відомості, а також дані польових досліджень, що проводилися в минулому [36].

Основною одиницею при проведенні гідроморфологічних досліджень є ділянка обстеження (ДО), яка поділяється на 5 відрізків обстеження (ВО) рівної довжини (табл. 1.4) [36].

Таблиця 1.4. Лінійні параметри, які використовуються при гідроморфологічному обстеженні річки [35]

Типи водотоку	Ширина русла, м	Протяжність ділянка обстеження, м	Протяжність відрізків обстеження, м
Мала річка	<10	200	40
Середня річка	10-30	500	100
Велика річка	> 30	1000	200

Обстеженню підлягають русло річки, обидва береги та прибережна зона і заплава. Прибережною зоною вважається 20-метрова смуга з нижнім кордоном по береговій лінії. Острови дослідженню не підлягають. Що стосується заплави, то дослідженням охоплюється тільки та її частина, яка часто опиняється затопленою під час паводків і повеней. Дослідження виконуються за безперервного, або за дискретного розташування ДО. Процедура дослідження включає 5 основних кроків [36].

- Збір даних. Необхідно зібрати топографічні карти різного масштабу, включаючи історичні, геологічні карти і карти ґрунтів та рослинності; шари геоінформаційних баз даних, що відображають землекористування, гідротехнічні споруди і об'єкти, аеро- і космічні знімки; інформацію з водокористування.

- Вибір ділянок обстеження від витоку до гирла річки. Слід визначити репрезентативні ДО і відповідні ВО та зафіксувати їх на карті.

- Оцінювання параметрів за картографічним матеріалом. Багато параметрів, що заносяться до протоколу дослідження місцевості можна визначити за допомогою карт та аеро- та космічних знімків. Безпосередньо на місцевості вони мають бути перевірені і уточнені.

- Проведення польових досліджень. Досліджуються ті ділянки, що були попередньо обрані і зафіксовані на карті. Якщо на місці з'ясується, що ділянка була обрана невдало або вона є важкодоступною, то її слід перенести і відповідно знову зафіксувати на карті. Необхідно виміряти або оцінити всі параметри, що вносяться до протоколу, а також зробити фотографію ділянки. Дослідження проводяться вздовж берега річки. Їх виконавець також має переходити з одного берега на інший, а в тих випадках, де глибина цього не дозволяє зробити в брід, слід використовувати човен.

- Оцінка гідроморфологічних та гідрологічних параметрів річки. Оцінені та виміряні параметри заносяться до протоколу. Параметри розділяються на дві групи: гідроморфологічні і гідрологічні.

Гідроморфологічні характеристики відносяться до чотирьох груп: показники русла, потоку, берега і прибережної зони та заплави. Результати досліджень ВО оцінюються бальною шкалою від 1 (найвищий) до 5 (найгірший) по кожному з параметрів. Бали для кожного ВО складаються і визначається їхнє середнє значення для ДО [36].

Такий підхід є чинним для кожної групи параметрів, що дозволяє знайти для ДО осереднені показники русла, характеристик потоку, берега і прибережної зони, заплави. Середнє значення з наведених показників складає показник гідроморфологічної оцінки всієї ДО [36].

Хоча ВРД ЄС не вимагає оцінювати гідроморфологічні характеристики за п'ятьма класами, стандарт CEN №14614 рекомендує використовувати класифікаційну систему саме за п'ятьма класами, які наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5. Гідроморфологічні класи та їхні граничні значення для оцінювання гідроморфологічних характеристик річки

Гідроморфологічний клас	Граничні значення	Колір
1 – Відмінний	1,00-1,74	блакитний
2 – Добрий	1,75-2,54	зелений
3 – Задовільний	2,55-3,44	жовтий
4 – Поганий	3,45-4,24	оранжевий
5 – Дуже поганий	4,25-5,00	червоний

Що ж стосується стандарту CEN TC 230/WG 2/TG 5: N53, то він рекомендує використовувати дві групи балів – А та Б. Група балів А складається з трьох градацій – 1,3,5: 1 – найвища якість; 3 – середня якість; 5 – найнижча якість (табл. 1.6). Коли основною метою є стратегічна звітність про гідроморфологічну якість річкових водних масивів, необхідно вживати групу балів А.

При аналізі за п'ятьма класами (Б) при оцінюванні гідроморфологічної якості річкових водних масивів, застосовують кольорове кодування рекомендоване у стандарті CEN № 14614 (див. табл. 1.5). Класифікаційні системи за п'ятьма та за трьома класами згідно стандарту CEN TC 230/WG 2/TG 5: N53 наведені в табл. 1.6 [36].

Гідроморфологічний моніторинг озер базується на оцінюванні гідроморфологічних показників, що забезпечують нормальне функціонування біологічних угруповань (макрофітів, фітобентосу, безхребетних, риб) [6].

Цей вид моніторингу необхідний для оцінювання озера природного середовища з подальшим розробленням програми заходів щодо відновлення та покращення екологічного стану за умови відхилення від референційних показників [6].

Гідроморфологічний моніторинг проводять на озерах, тобто на водних об'єктах, які займають одну або більше улоговин площею понад 0,50 км². До них відносяться озера всіх типів, включаючи природні, істотно змінені й

штучні, прісноводні та солоні (перехідні води, за винятком тих, які знаходяться у сталому взаємозв'язку з морем) [6].

Таблиця 1.6. Співвідношення системи балів А та Б для оцінки гідроморфологічної якості річкових водних масивів

5-бальна система (Б)			3-бальна система (А)		
Оцінка (клас)	Назва	Колір на карті	Оцінка (клас)	Назва	Колір на карті
1	Близький до природного	блакитний	1	Близький до природного	блакитний
2	Слабо змінений	зелений	2	Слабо-середньо змінений	жовтий
3	Середньо змінений	жовтий	3	Сильно-дуже сильно змінений	червоний
4	Сильно змінений	оранжевий			
5	Дуже сильно змінений	червоний			

Гідроморфологічні обстеження озер проводяться в літньо-осінній період року (протягом липня, серпня та вересня), оскільки в цей період можливо всебічно оцінити стан рослинності та його вплив на озеро.

Прибережну зону обстежують в межах ділянки 15х15 м від вершини берега включно, оскільки ця частина найбільше зазнає ерозії. В її межах відмічаються такі показники [6]:

- площа, зайнята рослинністю;
- домінуючий ґрунтово-рослинний покрив;
- наявність/поширеність нехарактерної рослинності;
- характерні риси вершини берега;
- максимальний розгін хвилі.

Зона берега – це область від урізу води на момент обстеження до бровки берега, вона може простягатися на багато метрів і спостерігатися лише при низьких рівнях води. Тому її обстеження краще проводити, коли вона не вкрита водою, що дає змогу точніше охарактеризувати склад та структуру відкладів [6].

Зона берега може складатися з однієї або двох підзон: береговий схил та узбережжя. Лінія, яка розділяє ці підзони, може бути визначена за такими ознаками: наявність розмиву, зміна матеріалу (субстрату), розчленована хвилями ніша або наявність «лінії сміття» (місця, де збирається винесене хвилями сміття або рештки рослин тощо) [6].

Узбережжя може утворитися внаслідок коливання рівня води, а також внаслідок ерозії берегів та транспортування відкладів берегової лінії і, як правило, складається з більш м'яких матеріалів (субстратів).

У межах зони берега оцінюється:

- для берегового схилу за його наявності: висота, кут нахилу, переважаючий субстрат, модифікація (зміна), рослинний покрив та його структура, ознаки ерозії;

- для узбережжя за його наявності: ширина, похил, переважаючий субстрат та його структура, модифікація (зміна), рослинний покрив та його структура, ознаки ерозії або акумуляційний дисбаланс, висота від урізу берега до «лінії сміття».

За відсутності підзон берегового схилу та узбережжя переважає матеріал зони берега [6].

Обстеження літоралі проводиться з точки обстеження, яка має бути розташована на межі літоралі в межах озерного середовища. Найкраще проводити обстеження літоралі з човна. В точці обстеження проводяться вимірювання глибини. Якщо немає можливості використовувати човен, дослідження проводяться у воді на максимально прохідній глибині (зазвичай 0,75 м) [6].

У межах літоралі зазначають та оцінюють такі показники: відстань точки обстеження від урізу води, глибина в точці обстеження, переважаючий субстрат та його структура, особливості середовища літоралі (коріння дерев, що знаходяться під водою, рештки дерев, рослинність, що нависає над водною поверхнею, скельні виступи або круті урвища), структура рослинного покриву, загальний відсоток поширення макрофітів, види рослин, що є нехарактерними для місцевості досліджень, поверхнева плівка [6].

Оскільки одним із завдань гідроморфологічного обстеження є оцінювання впливу діяльності людини на екологічний стан водного об'єкта (у цьому випадку озера), то в межах всього полігону відзначається наявність антропогенного впливу на озеро [6].

При цьому, територія обстеження включає полігон, а також буферну зону в 50 м по всьому його периметру, включно з ділянкою, що простягається вглиб озера від межі літоралі [6].

1.5.2. Оцінка гідроморфологічного стану водних об'єктів засобами ГІС та ДЗЗ. Поєднання польових методів з ГІС та засобів ДЗЗ є найбільш ефективним для отримання достовірних результатів дослідження щодо гідроморфологічного стану водного об'єкта, оскільки дає можливість не лише оцінити поточний стан водних об'єктів, але й розробити стратегії щодо їхнього відновлення (ревіталізації).

ГІС та засоби ДЗЗ стали необхідними складовими під час первинного обстеження гідроморфологічного стану водних об'єктів. Так, за допомогою візуального обстеження з використанням ГІС та засобів ДЗЗ можливе дослідження зовнішніх форм, структурних елементів русла річки, прибережної зони й берегової рослинності. Наприклад, аналіз фрагменту супутникового знімку Sentinel-2 L2A від 28.08.2025 р. засвідчив, що озеро

Світязь має чітко виражену чашоподібну форму з овальною конфігурацією (рис. 1.28).



Рис. 1.28. Озеро Світязь (Шацькі озера) на фрагменті супутникового знімку Sentinel-2 L2A від 28.08.2025 р.

На рис. 1.28 уздовж периметра простежується неоднорідність берегової лінії: на північній та східній частині озера берег має більш вигнуті обриси, натомість південна та західна частина озера мають плавні й округлі обриси. Така асиметрія форми може бути зумовлена локальними відкладенням та самим рельєфом підстильної породи. Щодо відмінності кольору водної поверхні озера від темно-синього у центральній частині до світло-зеленого по периферії, то це вказує на наявність різної глибини озера, а саме: наявності глибокої центральної частини й мілких прибережних зон озера.

Як видно з рис. 1.28 внутрішня структура озера характеризується наявністю одного вираженого острівного утворення в центральній частині, що сприяє локальній акумуляції донних відкладень та розвитку прибережної рослинності.

Прибережна зона озера Світязь містить берегову рослинність, таку як: вищі водяні рослини (наприклад, очерет, рогіз) та макрофіти. За візуальними ознаками ступінь заростання можна інтерпретувати як помірний у прибережній зоні (рис. 1.29).



Рис. 1.29. Прибережна зона озера Світязь на фрагменті супутникового зображення (Sentinel-2 L2A від 28.08.2025 р.)

Також, на рис. 1.29 спостерігається ділянки з оголеним берегом або тонкою смугою рослинності, що вказує на нерівномірне заростання озера.

Таким чином, можемо зробити висновок, що візуальне обстеження виступає фундаментальним інструментом для гідроморфологічної оцінки водного об'єкта, оскільки є першим кроком для виявлення просторових та структурних змін в ньому, а поєднання ГІС та засобів ДЗЗ та польових методів дає можливість за досить обмежений проміжок часу швидко проаналізувати гідроморфологічний стан водного об'єкта, та виокремити ділянки, які необхідно більш детально дослідити за допомогою польових методів.

Щодо моніторингу гідроморфологічних змін водних об'єктів, то за допомогою ГІС та ДЗЗ можна більш детально проаналізувати просторово-часові зміни морфології русла, берегових зон, динаміку меандрів, а також зафіксувати та підтвердити наслідки антропогенного впливу (наприклад, регуляцію течії, забудову берегів, тощо) на водні екосистеми.

До прикладу, порівняльне дослідження гідроморфологічної динаміки русла р. Десна (біля с. Надинівка, Чернігівської області) за супутниковими знімками Landsat 5 від 28.05.1988 р. та Sentinel-2 L2A від 30.05.2025 р. (рис. 1.30) показало, що на зображенні рис. 1.30А простежується меандрова структура русла, яка характеризується значною звивистістю та наявністю численних стариць. При цьому, русло має форму щільно розташованих вигинів, що свідчить про високий рівень руслової динаміки.



A



Б

Рис. 1.30. Меандрування русла р. Десна (біля с. Надинівка, Чернігівської області) за супутниковими знімками Landsat 5 від 28.05.1988 р. (А) та Sentinel-2 L2A від 30.05.2025 р. (Б)

Натомість, на рис. 1.30Б показано суттєві зміни, а саме візуально простежується зменшення кількості активних меандрів і часткове виправлення окремих ділянок русла. Крім того, частина меандрів перетворилася на відокремленні водойми – стариці, які частково заболочені або заповнені алювіальними відкладами.

Таким чином, порівняльний аналіз супутникових знімків від 28.05.1988 р. (рис. 1.30А) та 30.05.2025 р. (рис. 1.30Б) свідчить про тенденцію до зменшення активності меандрування та стабілізації русла р. Десна біля с. Надинівка, Чернігівської області.

Поєднання спектральних індексів та натурних спостережень дають можливість наочно прослідкувати сезонні зміни у водних об'єктах.

Так, за допомогою супутникових знімків та застосування індексу NDWI можна простежити динаміку р. Десна в межах Чернігівської області на ділянці «Річка Десна від гирла р. Сейм до г/п Чернігів (виключаючи рр. Сейм, Снов)» за весняний період 1988 - 2018 рр. (рис. 1.31).

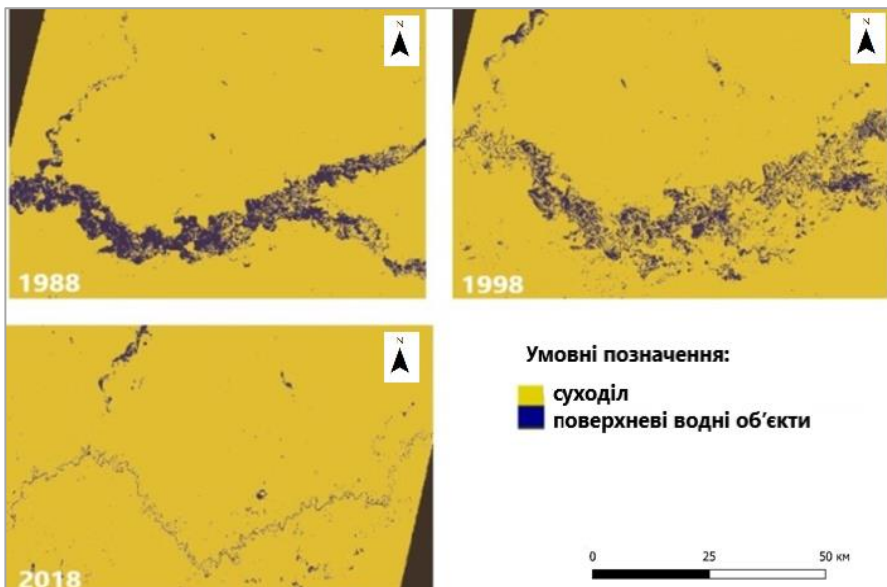


Рис. 1.31. Використання індексу NDWI для визначення динаміки площі р. Десна в межах Чернігівської області на ділянці «Річка Десна від гирла р. Сейм до г/п Чернігів (виключаючи рр. Сейм, Снов)» за весняний період 1988-2018 рр.

На рис. 1.31 застосовано єдину систему умовних позначень: жовтим кольором – суходіл, а синім – поверхневі водні об'єкти, що дозволяє ідентифікувати зміни площ водного дзеркала водних об'єктів за 30 років (1988-2018 рр.).

Як видно з рис. 1.31, у 1988 р. відповідно до просторової структури зображення, спостерігається висока водність весняного періоду, зумовлена

інтенсивним таненням снігового покриву та підвищенням рівнів ґрунтових вод. У цей період рівень затоплення суходолу був максимальним, що зумовило формування широкої заплавної зони, де відбулось короточасне перезволоження ґрунтів й утворення стариць. Натомість в 1998 р. спостерігається тенденція зменшення площі тимчасового затоплених заплавних територій, що може бути наслідком таких чинників як: зменшення обсягів весняного стоку через меншу кількість опадів чи танення снігового покриву. Така ж тенденція, щодо зменшення площі поверхневих водних об'єктів, простежується й в 2018 р.

Результати спостереження засвідчили, що відсоток суходолу басейну р. Десна в Чернігівській області на ділянці «Річка Десна від гирла р. Сейм до г/п Чернігів (виключаючи рр. Сейм, Снов)» за весняний період з 1988 по 2018 рр. збільшився на 22,13 % (рис. 1.31), а відповідно площа поверхневих водних об'єктів на цій ділянці зменшилась (табл.1.7). Останнє пов'язано із змінами водності р. Десна у створі м. Чернігів протягом 1988–2018 рр. з 1299 м³ до 630 м³.

Таблиця 1.7. Порівняльний аналіз даних з супутникових знімків

Дата	Земельні ресурси, %	Поверхневі водні об'єкти, %	Водність річки, м ³
20.04.1988	71,78	28,22	1299
16.04.1998	79,16	20,84	1061
14.04.2018	93,91	6,09	630

Таким чином, вивчення просторово-часової динаміки площі водного об'єкта є одним із ключових напрямів моніторингу гідроморфологічного стану річкових систем. Використання матеріалів ДЗЗ дає можливість здійснити оцінювання змін у межах затоплення заплави й простежити характер їхнього розподілу в часі.

Для виявлення змін площі водного об'єкта було проаналізовано фрагменти космічних зображень отриманих із супутників Landsat 5, 7, 8 та Sentinel-2A, за період 2015-2021 рр. для безхмарних днів із просторовим розрізненням 30 м із застосуванням спектрального індексу NDTI (рис. 1.32).

Як бачимо з рис. 1.32 для озера Старуха, Чернігівської області за період 2015-2021 рр. характерно значні зміни площі. Так, за 2015-2017 рр. простежується часткове скорочення озера в літні та осінні місяці. Натомість, в 2018 р. озеро Старуха в Чернігівській області демонструє відновлення водності в весняні та осінні місяці, й зменшенням водної площі в літній місяць, що спричинило тимчасове обміління водного об'єкта. З 2019-2021 рр. простежується зменшення водної площі з переважанням процесу обміління водного об'єкта за цей період.

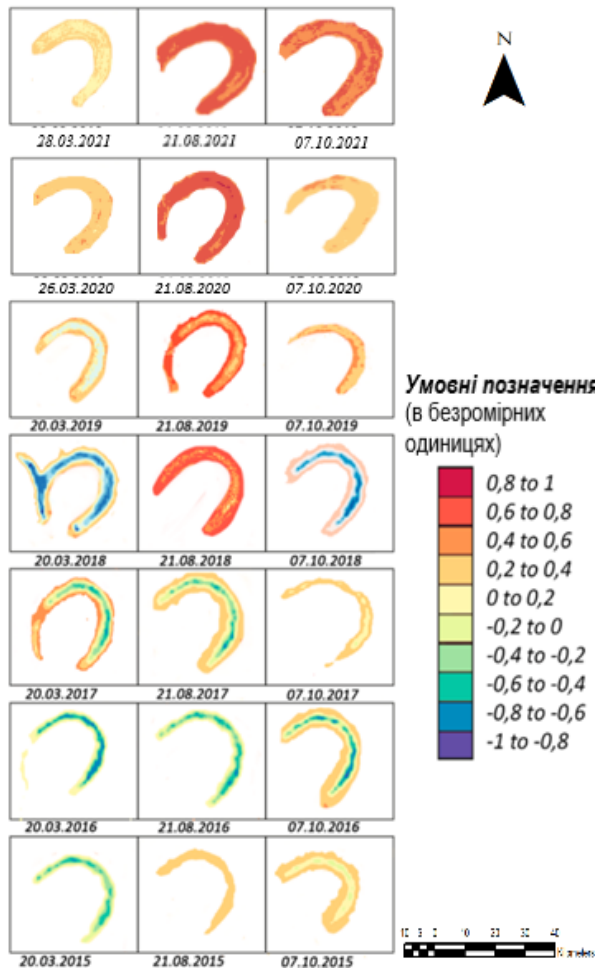


Рис. 1.32. Зображення озера Старуха в Чернігівській області, отримані із застосуванням спектрального індексу NDTI на фрагменті супутникових зображень отриманих із Landsat 5, 7, 8 та Sentinel-2A, за період 2015-2021 рр.

Таким чином, на рис. 1.32 наведено результати обробки супутникових знімків за період 2015–2021 рр., де засвідчено зменшення площі водного об’єкта – озера Старуха в Чернігівській області з 8100 м² до 4995 м² внаслідок природних процесів, які відбуваються в ньому. Тому й можемо спостерігати обміління, замулення та заростання болотною рослинністю водного об’єкта за досліджуваний період.

Також, моніторинг температури поверхні води у водному об’єкті є одним із опосередкованих показників функціонування екосистеми, оскільки впливає на біологічну продуктивність акваторії в цілому. Крім того, це дозволяє вивчити локальні зміни в екосистемі водного об’єкта. Наприклад, надходження значних об’ємів технічної води від ТЕЦ в р. Десна поблизу

Чернігова (рис. 1.33) є негативним результатом її роботи, що порушує природний тепловий режим водного об'єкта.

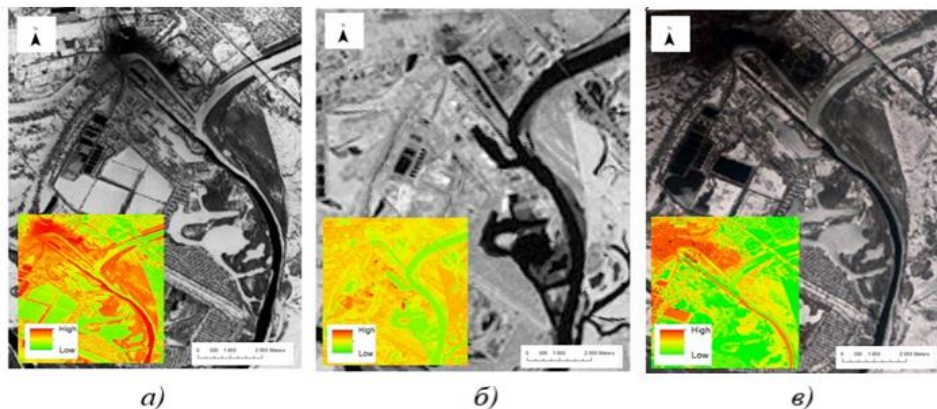


Рис. 1.33. Надходження значних об'ємів технічної води від ТЕЦ в р. Десна за даними WorldView-1 (із розрізненням 0,45 м): а) 04.01.2000; б) 04.04.2002; в) 04.01.2018

Це дозволяє з'ясувати не лише просторову картину зміни температури у поверхневому водному об'єкті, а й виявити їх причини виникнення. Таким чином, можна прослідкувати надходження підігрітої технічної води з ТЕЦ на знімках отриманих в зимовий період на контрасті з «природною» температурою в поверхневих водах.

Для ефективного вирішення геоecологічних завдань на урбанізованих територіях необхідна достовірна інформація про кількість поверхневих водних об'єктів. Оскільки на сьогодні космічні знімки використовуються в основному для дослідження несприятливих гідрологічних явищ, або для дослідження періодичних змін різних геологічних характеристик та властивостей поверхневого водного об'єкта.

Тому є актуальним використати індекс NDPI (Normalized Difference Pond Index) для оцінки кількості поверхневих водних об'єктів в межах басейну р. Десна за допомогою матеріалів ДЗЗ. Для кількісної оцінки штучних поверхневих водних об'єктів була обрана водогосподарська ділянка «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм та Снов)» (територія Куликівської територіальної громади Чернігівської області) та відноситься до третьої тераси басейну р. Десна площею 0,97 тис. км² (3,04 % території Чернігівської області), яка лежить на Придніпровській низовині Чернігівського Полісся.

Крім того, для кількісної оцінки штучних поверхневих водних об'єктів був використаний індекс NDPI та обрано зображення з двох різних супутників Landsat 8 з 30.04.2018 по 07.10.2018 рр., з хмарністю – 0 %, кут 46-51°. Результати кількісної оцінки штучних поверхневих водних об'єктів за допомогою індексу NDPI представлено на рис. 1.34.

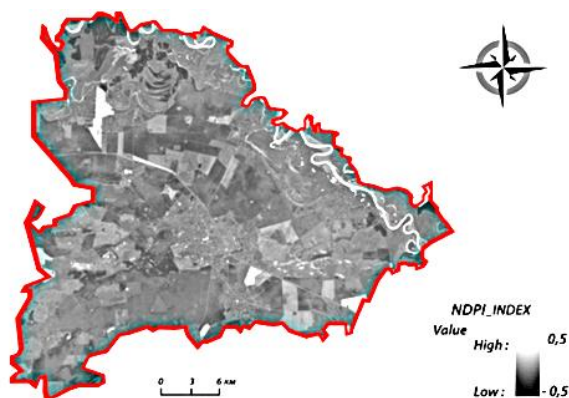


Рис. 1.34. Результати кількісної оцінки штучних поверхневих водних об'єктів за допомогою індексу NDPI (Куликівська територіальна громада Чернігівської області), Landsat 8 від 30.04.2018 р.

Результати визначення кількості штучних поверхневих водних об'єктів на досліджуваній території наведено у табл. 1.8.

Таблиця 1.8. Кількість штучних поверхневих водних об'єктів Куликівської територіальної громади Чернігівської області

Назва територіальної громади	За даними матеріалів Деснянської БУВР, шт. [15]	За даними матеріалів ДЗЗ, шт.
Куликівська	38	86

Проаналізувавши отримані дані рис. 1.34, було встановлено, що загальна кількість штучних поверхневих водних об'єктів на цій території досягає 86, що на 48 водойм більше ніж зазначено в статистичній звітності Деснянським БУВР (табл. 1.8). Це пояснюється тим, що під час інвентаризації кількості штучних поверхневих водних об'єктів не брали до уваги поверхневі водні об'єкти з площею менше 0,5 га.

Отже, моніторинг гідроморфологічних змін водних об'єктів за допомогою ГІС та ДЗЗ дає можливість охопити великі території та отримувати дані з ретроспективою, але це не виключає польову верифікацію для підтвердження цих змін. Крім того, дані ДЗЗ дозволяють одночасно дослідити просторову структуру, динаміку гідроморфологічних змін й екологічний стан водного об'єкта.

1.6. Оцінка трофічного стану водойм

1.6.1. Загальні положення. Трофність водойми – це її біологічна продуктивність, яка залежить від кількості біогенних елементів, таких як азот і фосфор, що визначають здатність водойми підтримувати життя. Водойми поділяються на: *оліготрофні* – бідні на поживні речовини, з прозорою водою; *мезотрофні* – із середнім рівнем поживних речовин у воді; *евтрофні*

– багаті на поживні речовини, з рясною рослинністю і схильністю до «цвітіння води».

Окремо виділяються ще й *дистрофні* водойми – природні озера з дуже малим вмістом доступних біогенних елементів, низькою мінералізацією води, підвищеною кислотністю та темно-коричневим кольором води через високий вміст гумінових речовин болотного походження. Така вода має низьку прозорість, мало планктону, а також дефіцит кисню, але багата на органічні речовини, що зумовлює низьку первинну продуктивність. Озера такого типу зустрічаються у заболочених районах Полісся [49].

Евтрофікація водойми – процес збагачення води сполуками біогенних елементів, насамперед азоту та фосфору, що сприяє збільшенню первинної продукції водойми в результаті розвитку водоростей і вищих водяних рослин. Основним індикатором цього процесу є масовий розвиток мікроскопічних водоростей («цвітіння» води), загибель і розкладання яких згодом призводить до зменшення концентрації кисню у воді.

1.6.2. Індекс трофічного стану водойми Карлсона (TSI). Під трофічним станом розуміють біологічну реакцію на поживні речовини у водоймі, тобто збільшення біомаси фітопланктону. Одним з методів оцінювання трофічного стану водойми є застосування індексу трофічного стану Карлсона (TSI), який розроблений в 1977 р. [80]. Метод TSI використовує прозорість води, значення хлорофілу А, фосфорні вимірювання.

Прозорість озерних вод змінюється в широких межах залежно від географічної широти місцевості, яка визначає умови освітленості поверхні води сонцем, а також залежно від наявності у воді завислих речовин і планктону. Найбільш прозорими є глибокі озера, розташовані в гірських місцевостях, у їхній воді дуже повільно розчиняються кристалічні породи озерної улоговини. Мала прозорість води характерна для мілких озер, де дрібні частки донних відкладів легко піднімаються при перемішуванні, а також для озер із великим вмістом планктону та озер, які живляться болотними водами. Найменша прозорість біля берегів таких озер, на відмілинах, найбільша – в центральній частині [60].

Прозорість озерних вод змінюється з глибиною. Тому в мілководних озерах найменша прозорість біля дна, що пояснюється підйманням і зависанням донних відкладів. А в глибоких озерах найменш прозорі поверхневі шари води, де розвивається планктон. Зміна прозорості протягом року пов'язана з режимом стоку і розвитком планктону [60].

Найменша прозорість спостерігається навесні та влітку і пов'язана з повеннями та паводками на річках та притоках, а в мілких озерах – і з «цвітінням води». Найбільша прозорість характерна для озер у зимовий період, коли вони вкриті льодом [60].

Методи обробки космічних знімків для моніторингу процесів евтрофікації водних об'єктів, як правило, базуються на аналізі варіацій коефіцієнта дифузного відбивання світла поверхневими та приповерхневими шарами води при збільшенні в них концентрації фітопланктону. З одного боку, збільшення концентрації фітопланктону спричинює зростання дифузного відбивання світла внаслідок підвищення розсіювання світла у мікрowodоростях. З іншого боку, цей процес супроводжується збільшенням вмісту в фітопланктоні різних пігментів, які інтенсивно поглинають світло у 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. Найістотнішим є поглинання світла хлорофілом-А. Максимум поглинання цим пігментом припадає на спектральний інтервал 670-690 нм [80].

Чутливою до цього ефекту є дистанційна зйомка з відносно високим спектрально просторовим розрізненням. 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 наявності завислих частинок неорганічного походження, для яких характерне збільшення концентрації з глибиною, дифузне відбивання світла є дуже низьким. Водночас через інтенсивну евтрофікацію водойми спостерігається висока концентрація фітопланктону в тонкому приповерхневому шарі води, що зумовлює високі коефіцієнти відбивання для ділянок акваторії, де спостерігається інтенсивна евтрофікація.

Описані особливості зонального розподілу дифузно-відбитого світла на ділянках інтенсивної евтрофікації водойми зумовлюють ефективність використання матеріалів багатозональної космічної зйомки для їхнього картографування. Більшість практичних завдань моніторингу стану поверхневих вод можна звести до картографування просторово-часового розподілу концентрації фітопланктону під впливом природних і антропогенних чинників забруднення з виділенням водойм оліготрофних, мезотрофних, евтрофних та гіпертрофних (рис. 1.35).

Визначення трофічного стану виконується на основі вивчення кількох різних критеріїв, таких як форма кисневої кривої, видовий склад донної фауни або фітопланктону, концентрація поживних речовин та різні показники біомаси або продукції [80].

Згідно шкали Р.Е. Карлсона, оліготрофному стану відповідає величина $TSI < 30$, мезотрофному $TSI = 40-50$, евтрофному інтервал TSI варіюється від 50 до 70, а гіпертрофному стану – понад 70 [80].

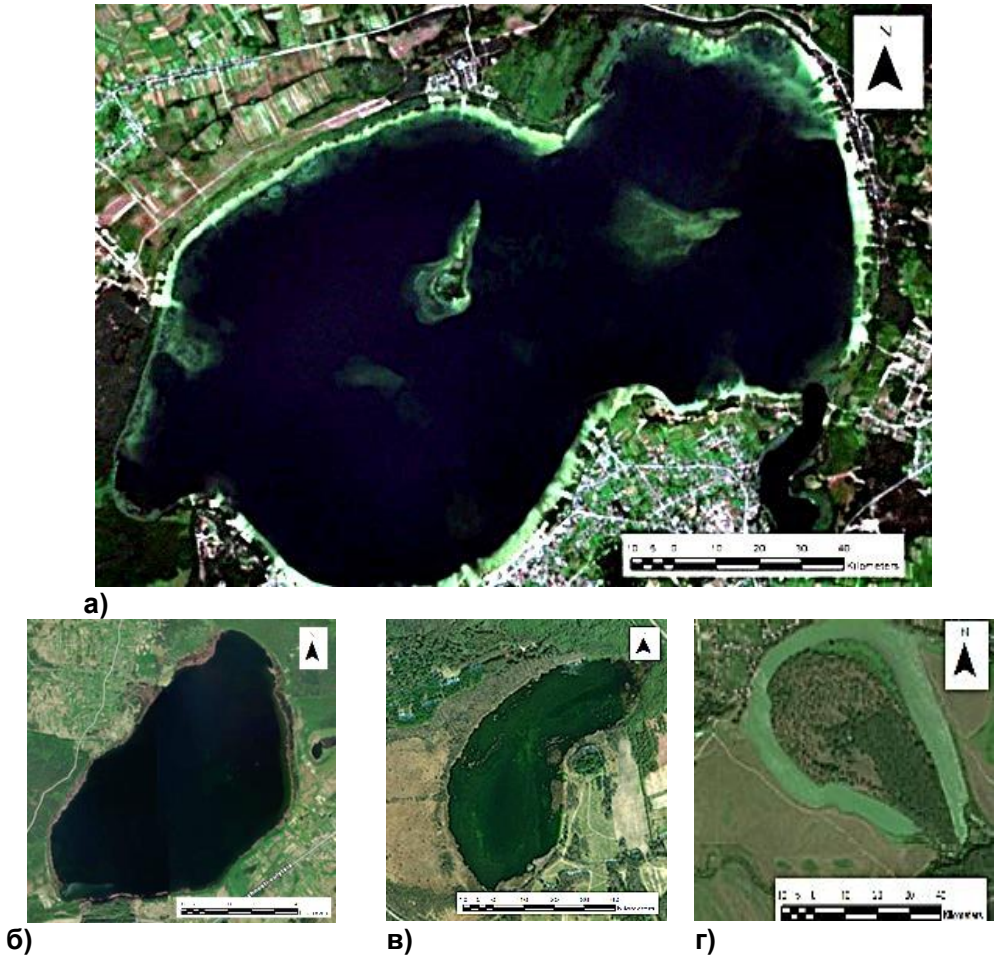


Рис. 1.35. Водойми з різними стадіями трофічного стану (на супутниковому знімку Sentinel-2 L2A від 17.06.2025): а) оліготрофна водойма; б) мезотрофна; в) евтрофна; г) гіпертрофна

Водойми (озера, водосховища, ставки) зі значеннями TSI нижче 30 є такими, що мають дефіцит поживних речовин і є мінімально продуктивними. Ці озера мають високу прозорість води, але не можуть забезпечувати достатній рівень вмісту необхідних поживних речовин для підтримання здорового середовища для риб та дикої природи у водоймі [125].

Озера зі значеннями TSI від 40 до 50 вважаються такими, що мають середній діапазон поживних речовин і є досить продуктивним для підтримання водної екосистеми [125].

Озера зі значеннями TSI від 50 до 70 вважаються водоймами з хорошим або достатнім вмістом поживних речовин і мають досить високу продуктивність й значну кількість поживних речовин для підтримання водної екосистеми [125].

Озера зі значеннями TSI від 70 до 100 вважаються водоймами з надлишком поживних речовин і є найпродуктивнішим трофічним класом озер. Оскільки ці водойми мають найвищу концентрацію поживних речовин, вони мають потенціал для підтримання найвищого рівня біологічної продуктивності. Ці водойми мають найбільший потенціал для широкого діапазону вмісту розчиненого кисню, що може мати негативний вплив на водної екосистеми [125].

Шкала цього індексу (рис. 1.36) є чисельною, що дає можливість визначати рівень трофності водойми (озера).

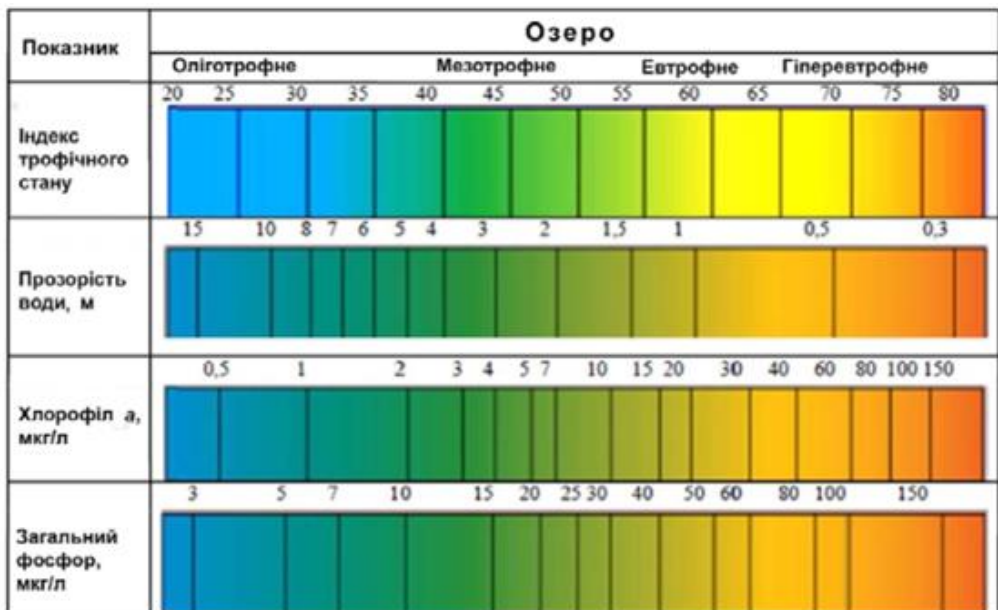


Рис. 1.36. Шкала індексу трофічного стану озер [72]

Кожна основна область (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100) трофічного розподілу являє собою подвоєння концентрації поверхневої біомаси фітопланктону, яка робить класифікацію трофічного стану прийнятнішою. Чисельне значення TSI можна обчислити за значенням прозорості води та за концентраціями вмісту у воді хлорофілу-А і сполук фосфору [1, 72, 80].

Значення $TSI_{X_{La}}$ для озер розраховувалися за формулою (1.5), емпірично визначеною й запропонованою Ф.Т. Шумаковим [72]:

$$TSI_{X_{La}} = 82,02 - 31,88 TM1/TM2 + 1,13 TM4, \quad (1.5)$$

де $TM1$, $TM2$, $TM4$ – значення яскравості відбитого електромагнітного випромінювання, зареєстрованого відповідно у 1-у, 2-у і 4-у спектральних каналах знімків LANDSAT-7.

Індекси трофічного стану водних об'єктів, запропоновані Р. Е. Карлсоном, розраховуються за формулами (1.6-1.7) [80]:

$$TSI (TP) = 14.427 \times \ln (P_{загал.}) + 4.1504, \quad (1.6)$$

де $TSI (TP)$ - індекс трофічного стану водних об'єктів за середньорічним значенням концентрації сполук фосфору.

$$TSI (SD) = 60 - 14.41 \times \ln (\text{прозорості води за диском Секкі}), \quad (1.7)$$

де $TSI (SD)$ - індекс трофічного стану водних об'єктів за середньорічним значенням прозорості води за диском Секкі.

В результаті загальний трофічний стан поверхневих вод дорівнює середньому арифметичному трьох індексів трофічного стану ($TSI (TP)$, $TSI (SD)$ та $TSI_{X_{La}}$), який визначається за формулою (1.8):

$$TSI = (TSI (TP) + TSI (SD) + TSI_{X_{La}}) / 3, \quad (1.8)$$

Таким чином, індекс трофічного стану (TSI) є досить важливим і ефективним інструментом для дослідження трофічного стану водних об'єктів.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ БАСЕЙНУ ДЕСНИ В МЕЖАХ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Геолого-геоморфологічні умови

У геологічному відношенні басейн р. Десна знаходиться в межах Дніпровсько-Донецької западини, а її північно-східна частина – Новгород-Сіверське Полісся – на південно-західному схилі Воронезького масиву. Кристалічний фундамент залягає дуже глибоко (10-20 км), а в південному напрямку глибина залягання зменшується.

Осадкові породи басейну Десни представлені утвореннями девонської, кам'яновугільної та пермської систем палеозою, тріасової, юрської й крейдової систем мезозою та палеогеновими, неогеновими і четвертинними відкладеннями кайнозою [11- 12].

У північній частині Чернігівської області верхня частина геологічного розрізу басейну Десни складена переважно палеогеновими, неогеновими і четвертинними відкладеннями.

Палеогенові відкладення мають переважно піщано-глинистий склад з витриманою верствою мергелів, глин, глинистих алевритів київської світи – регіонального водотриву. Найповніше розріз палеогенових відкладень представлений в центральній частині западини, де їх загальна потужність сягає 100–150, іноді й до 220 м (с. Салтикова Дівиця Чернігівського району).

Неогенові відкладення розташовані на півночі території та в центральній частині у межиріччі Дніпра, Десни та Замглаю, а також біля селища Седнів Чернігівського району. Ці відкладення представлені: пісками полтавської світи міоцену, товщею строкатих глин міоцен-пліоцену й алювієм пліоцену. На північному сході в долинах Десни, Снову, Ревни та невеликих приток Десни – породами верхнього підвідділу крейдової системи.

Четвертинні відкладення вкривають територію суцільним шаром потужністю від 5–20 м на півночі та до 50–70 м на півдні. Літологічно породи четвертинної системи представлені генетичними типами: льодовиковими, флювіогляціальними, еоловими, алювіальними, алювіально-озерними, озерними і делювіальними [11].

Специфічні геоморфологічні умови (слабка розчленованість рельєфу, незначні її нахили), геологічна будова (наявність в розрізі водотривких чи слабководотривких порід, особливо у верхній частині), гідрогеологічні умови (повсюдно розвинуті четвертинні водоносні горизонти з неглибоким заляганням підземних вод), гідролого-кліматичні фактори (наявність густої гідрографічної мережі, значна кількість опадів) зумовлюють розвиток великої

кількості боліт і заболочених земель. Болота і заболочені ділянки приурочені до долин великих та малих річок і мають заплавний характер. Живлення їх відбувається головним чином за рахунок інфільтрації атмосферних опадів безпосередньо на площі їх розвитку, надходження поверхневих і ґрунтових вод з прилеглих вододілів, інфільтрації паводкових вод річок.

Північно-східна частина області знаходиться у зоні Новгород-Сіверського Полісся, де основним геоморфологічним елементом виступає моренно-зандрова рівнина, незначну площу займає лесова рівнина і зовсім незначне поширення мають заплави, перша та друга надзаплавні тераси р. Десна, р. Ревна та інших малих річок. Гідрографічна мережа у цій зоні розвинута менше, ніж на Чернігівському Поліссі. Долини річок вузькі, глибоко урізані, інтенсивно розвинена балочна мережа. Характерною особливістю району є наявність карсту [11, 12].

Витратна частина балансу ґрунтових вод складається з випаровування та розвантаження в річкові долини. В Новгород-Сіверському Поліссі наявний відтік ґрунтових вод нижньою частиною крейдового розрізу в південно-західному напрямку. Режим ґрунтових вод підпорядкований сезонній динаміці. Поповнення запасів ґрунтових вод відбувається навесні і восени, витратний процес переважає влітку і взимку.

Решта території басейну р. Десна відноситься до Лісостепової зони. В геоморфологічному відношенні ця територія являє собою терасову рівнину четвертої надзапавної тераси р. Дніпро, в південно-східній частині розвинена лесова рівнина. Поверхня тераси слабо розчленована, на лесах і суглинках наявні прохідні долини і численні замкнуті блюдцеподібні пониження. Атмосферні води, акумулюючись в цих пониженнях, затримуються на тривалий час і зволожують ґрунт. Інфільтрація вод з часом стає неможливою через кальматацію поверхневих шарів ґрунту, витрати води здійснюються лише шляхом випаровування. З часом площа понижень збільшується внаслідок просадки лесів. Тому, через наявність в розрізі водонепроникних або слабоводопроникних порід, особливо у верхній частині, великої кількості блюдцеподібних понижень на лесах і суглинках та слабу розчленованість поверхні, формування стоку в цій зоні проходить дуже уповільнено. Осадочна товща представлена породами палеозою, мезозою і кайнозою. Відкладення неоген-палеогену представлені глинами, мергелями, алевритами, пісками. Залягаючи на великих глибинах (бурінням виявлені на глибинах 35–77 м і більше), вони практично не впливають на меліоративну обстановку [11, 12].

Заплавна тераса р. Десна (рис. 2.1) має значну ширину та складена пісками. Рельєф заплави звичайний. Прируслова її частина досить висока, піщана, подекуди нерівна через нагромадження дюнных пісків. Середина заплави відрізняється плоскою, згладженою поверхнею. Присхилова частина заплави похилена в бік від ріки – до уступу другої тераси.

Найчастіше, перша тераса є затоплюваною частиною долини. Вона добре виражена і має складну мікрорельєфну структуру з численними старицями, рукавами, заплавними озерами, що свідчить про динамічні руслові процеси.

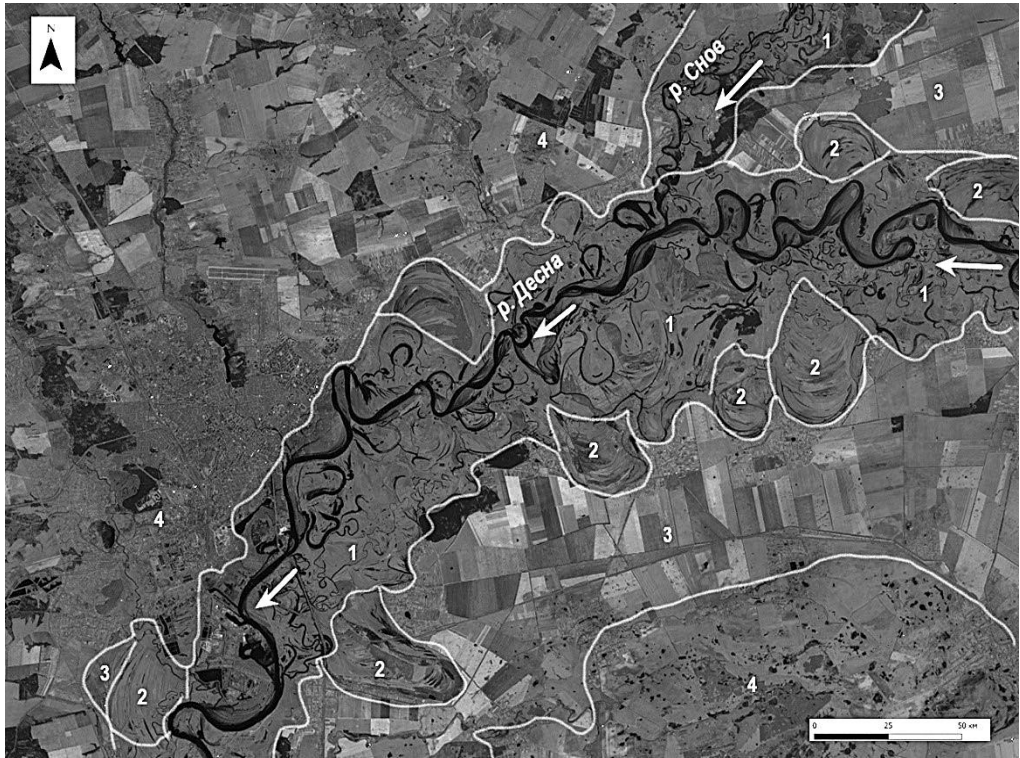


Рис. 2.1. Геолого-геоморфологічна будова долини р. Десна (супутниковий знімок Landsat 7 від 10.04.2002 р.): 1) заплавна тераса; 2) алювіально-аккумулятивні відклади; 3) заплавна рівнина, утворена діяльністю дніпровського зледеніння; 4) надзаплавна тераса

Друга та третя надзаплавні тераси представлені у вигляді слабонахилених ділянок по обидва боки заплави, які були утворені в результаті тривалого відступу річки та відповідно зниженням базису ерозії. Друга тераса складена пісками, іноді глинистими пісками, яка підіймається на 12–16 м над рівнем річки. Від заплави друга тераса відмежована дуже різко виявленим уступом. Рельєф другої тераси складний, типовий для піщаних просторів. В районі Чернігова Десна має дві тераси – заплавну і надзаплавну. Заплавна тераса Десни біля м. Чернігова подекуди досягає 12 км завширшки. По луговій терасі річка утворює численні блукаючі меандри, заплавні озера та стариці. Тут, як і вище по течії, виділяються прируслова, серединна та присхилова заплава. Друга тераса підіймається над рівнем річки на 10–13 м. Скупчення пісків спостерігається в частинах, що прилягає до заплави та русла. В сторону від річки рельєф поступово згладжується і

поверхня тераси набуває хвилястого характеру. Нерідко можна спостерігати покрив з лесоподібних алювіальних суглинків. В межах другої тераси р. Десна цілком зберігся алювіальний акумулятивний рельєф. Зокрема, особливо яскраво виявлені мінливої форми гривки, з покрученими розпливчастими контурами, видолинками. Також дуже часто трапляються округлі, блюдцеподібні зниження – сліди давніх русел, знівельованих у процесі формування тераси. У зниженнях лежать мілкі озерця з водою – «замри вода». Часто вони заболочені. Третя надзаплавна тераса є вищою, з меншим впливом сучасних водних процесів.

Таку ж геоморфологічну будову, як долина Десни, мають і її найголовніші притоки. Велика частина терас зайнята сільськогосподарськими угіддями, які проявляються на рис. 2.1 у вигляді мозаїчного розчленування полів. Крім того, заплава не може використовуватися інтенсивно через ризик затоплення.

Гідрогеологічні умови в басейні Десни безпосередньо пов'язані з її геологічною будовою, рельєфом місцевості та поверхневим стоком. Форма поверхні зумовила напрям течії сучасної річки. Верхів'я річки лежить на невеликій висоті над рівнем моря, тому падіння її незначне, течія повільна, спокійна.

Підземні води басейну Десни є частиною Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. Прісні води тут залягають до глибини 500–600 м. Потужність водоносних шарів велика. Для водопостачання використовують хороші за якістю підземні води мергельно-крейдової товщі раньокрейдового і юрського періодів.

Таким чином, геолого-геоморфологічна будова долини річки формує умови, в яких можливий відносно вільний або необмежений розвиток руслових процесів та утворення нових русел або річкових рукавів. Крім того, долина Десни має добре виражену заплавно-терасну структуру з кількома рівнями терас. Геолого-геоморфологічна будова долини Десни свідчить про активні ерозійно-акумулятивні процеси в межах заплави та стабільні умови на вищих терасах.

2.2. Рельєф, ґрунти

2.2.1. Рельєф. В орографічному відношенні територія басейну Десни є здебільшого низовинною рівниною. Проте в окремих її частинах рельєф досить складний (численні річкові долини, яри, морени, давні прохідні долини, денудаційні і карстові форми). Нахил поверхні обумовлений падінням корінних порід в сторону осьової частини Дніпровсько-Донецької западини – зі сходу на захід і на південь [12].

Середня висота басейну Десни в Чернігівській області становить 120 м над рівнем моря. Найбільшої висоти (до 213 м) територія басейну досягає в

північно-східній частині, в межах Придеснянського плато, яке круто обривається до Десни і утворює її високий правий берег (рис. 2.2).

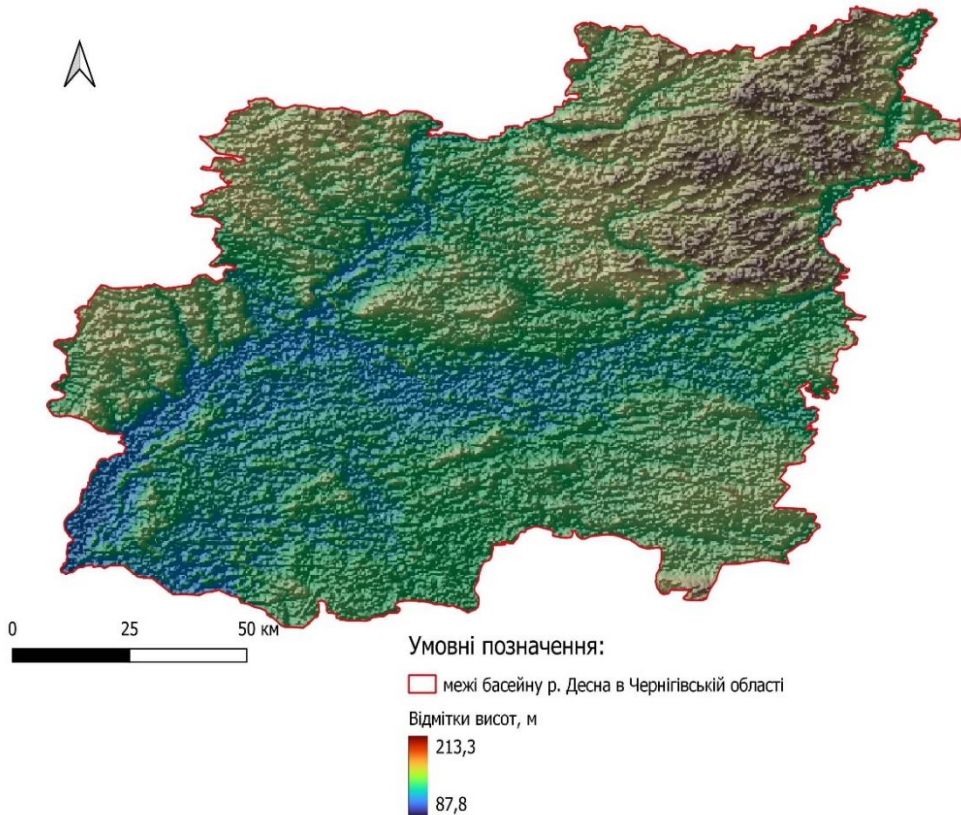


Рис. 2.2. Рельєф басейну Десни в Чернігівській області, SRTM 30

Рельєф рівнини долинно-балковий, вироблений ерозійною діяльністю текучої води. Полісся має акумулятивний гляціо-алювіальний, слабо хвилястий рельєф [12].

Характерною рисою рельєфу Полісся можна вважати велику кількість боліт. Тому для більшої частини території басейну Десни характерною є заболоченість. Залежно від геологічної структури, орографії та покривних відкладень, сполучення форм поверхні Полісся дуже змінюється.

На підставі цього в його межах виділяють окремі великі геоморфологічні територіальні одиниці, а саме: Дніпровсько-Деснянську терасову рівнину (головну роль в рельєфі відіграють тераси Дніпра та Десни), Любецько-Чернігівську рівнину (в будові рельєфу беруть участь лесовидні суглинки, морена, алювіальні відклади), Городнянську рівнину (поширені водно льодовикові піски і суглинки з островами морен, рівнина

розчленована прохідними долинами), долину Замглай (одна з найбільш реліктових долин Полісся, яка з'єднує долину Дніпра та Десни), Сновсько-Деснянську рівнину (територія якої покрита пісками водно-льодовикового та алювіального походження), Придеснянську алювіальну низовину (охоплює в основному тераси Десни, в окремих місцях заболочена), Борзнянсько-Сосницьку лесову рівнину (характерна значним розвитком лесовидних суглинків; заболочених ділянок мало), Новгород-Сіверську еродовану рівнину (характеризується розвитком ярів, корінні крейдяні породи беруть участь в будові рельєфу) [50].

Своєрідними ландшафтами характеризуються прохідні піщано-болотні долини. Найбільша з них – давня прохідна долина Дніпра – Замглай (рис. 2.3).

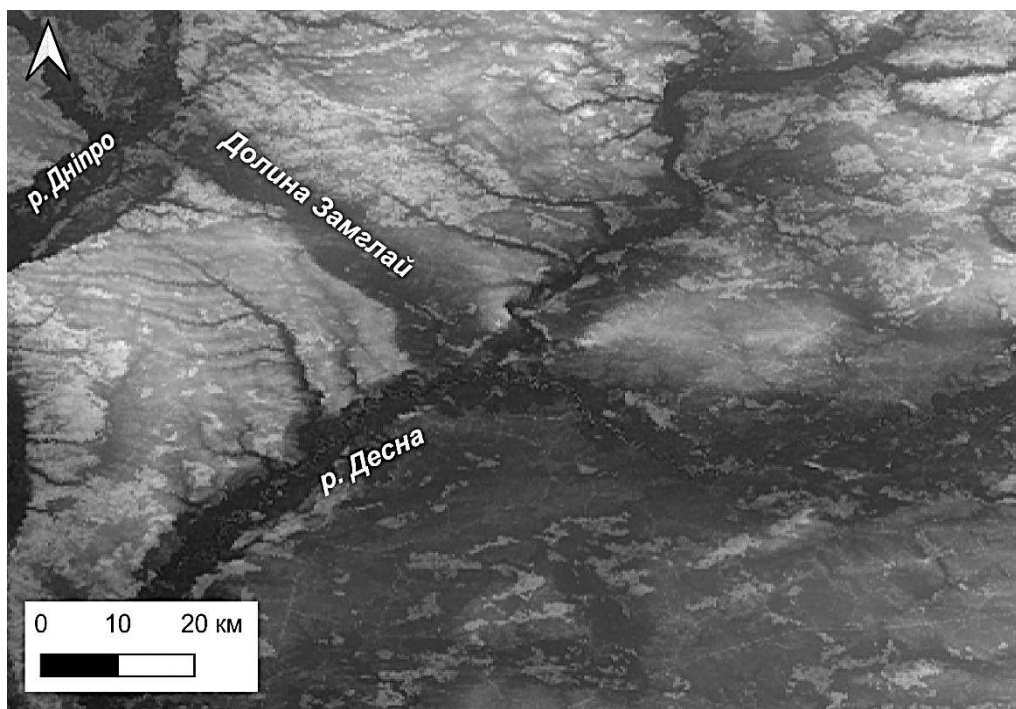


Рис. 2.3. Положення долини Замглай в басейні Десни в Чернігівській області на основі даних ДЗЗ – фрагмент ЦМВ за висотними даними космічного знімання SRTM 30

Дно долини Замглай зайнято низинними болотами з торфовищами. Потужність торфу сягає в середньому 1,5–2 м, а максимально – до 5–6 м. Частина боліт меліорована і використовується під сільськогосподарські угіддя [50].

2.2.2. Ґрунти. В басейні Десни в Чернігівській області розповсюджені майже всі типи ґрунтів, притаманні Поліссю і Лісостепу України (рис. 2.4).

Найбільше поширення мають дерново-підзолисті ґрунти – близько 680 тис. га; сірі, темно-сірі лісові та близькі до них опідзолені чорноземи займають 508 тис. га; чорноземи вилугувані малогумусні займають 113,4 тис. га, а типові для лісостепу малогумусні чорноземи – 272 тис. га. Ґрунти лучного та болотного ряду, а також торф'яні розповсюджені окремими масивами і разом займають площу близько 840 тис. га.

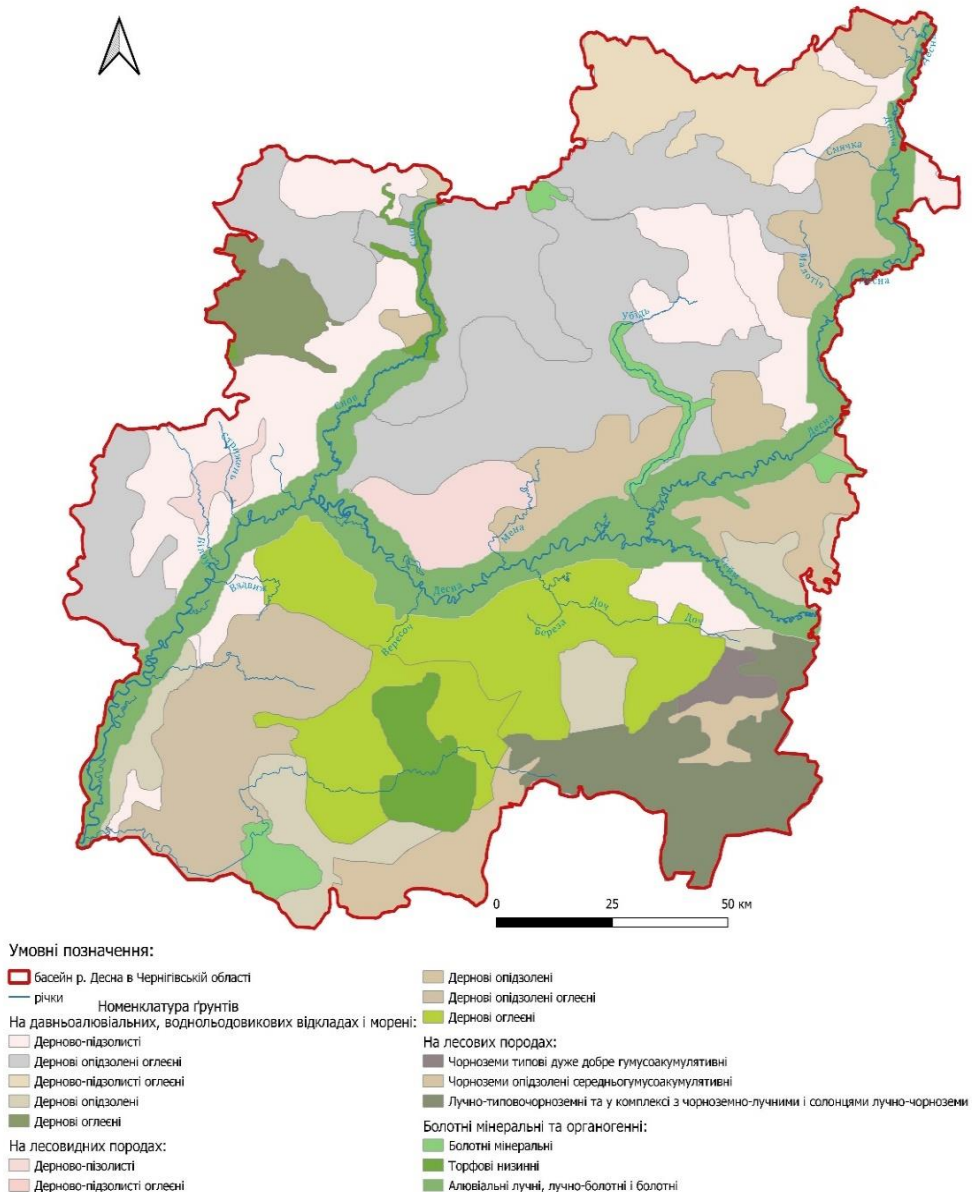


Рис. 2.4. Типи ґрунтів в басейні Десни в Чернігівській області

Лесові ґрунти поширені на площі 12,41 тис. км² (38,9 %), з них ті, що відповідають I типу ґрунтових умов за просіданням займають площу 9,94 тис. км² (31,15 %), ґрунти, що характеризуються II типом ґрунтових умов – 2,47 тис. км² (7,75 %), решта – непросідаючі (45%). Міста Новгород-Сіверський, Чернігів і Прилуки розташовані на лесових ґрунтах з II типом ґрунтових умов за просіданням, їх промислові зони – повністю. Міста Бахмач, Носівка та Бобровиця розбудовані на лесових ґрунтах I типу ґрунтових умов [25].

Ґрунти лучного та болотного ряду, а також торф'яні розповсюджені окремими масивами і разом займають площу близько 840 тис. га. Залісненість територій, що відносяться до зони Чернігівського Полісся, складає близько 20,7 % (в північних районах 20–41 %, в південних – 7–20 %).

2.3. Клімат

Клімат басейну Десни в Чернігівській області помірно-континентальний, з доволі теплим літом і порівняно м'якою зимою. Середньорічна температура повітря за повоєнний період становить 6–8 °С тепла. Зокрема, середня температура найхолоднішого місяця року (січень) становить 6–7 °С морозу, найтеплішого місяця (липень) досягає 19–20 °С тепла. Але в окремі роки температура повітря помітно відхиляється від цих величин. Різниця в середньорічній температурі повітря північної і південної частини області складає біля 1 °С. Абсолютний максимум температури повітря 41,4 °С тепла зафіксований у серпні 2010 р. метеостанцією (МС) Семенівка, абсолютний мінімум 40,2 °С морозу спостерігався у січні 1987 р. на МС Нові Млини Борзнянського району (станція закрита у 1988 р.).

Тривалість періоду з середньодобовою температурою повітря нижче 0 °С на території області за рік становить в середньому 104–119 днів, а вище 0 °С – 246–261 день.

Середня дата стійкого переходу середньодобової температури повітря через 0 °С в бік підвищення (початок весни) спостерігається у період 28 лютого – 5 березня, у північно-східних та східних районах 9–13 березня. Середня дата стійкого переходу середньодобової температури повітря через 0 °С у бік зниження (початок зими) спостерігається 23–25 листопада, у східних та північно-східних районах 19–21 листопада.

Стійкий сніговий покрив утворюється у другій половині листопада або у першій половині грудня. Середня висота снігового покриву 8–16 см. Максимальної висоти 43–59 см сніговий покрив досягав у першій десятиденці березня 1987 р. Глибина промерзання ґрунту дуже різна і в найхолодніші та малосніжні зими (1986 р.) у північних та південно-східних районах ґрунт промерзав на 140–150 см. В останні 10 років інколи стійкий

Загальна довжина Десни становить 1130 км, в межах України – 575 км, з яких 70 км – протяжність по території Київської області, 468 км – по території Чернігівської області та 37 км – по адмінмежах Чернігівської та Сумської областей [15]. Площа басейну Десни складає 88,9 тис. км², в тому числі в межах України – 34,2 тис. км². На всій протяжності в межах Чернігівської області Десна приймає більше 100 приток довжиною понад 10 км, характеристики основних з них наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Основні морфометричні характеристики головних приток р. Десна в Чернігівській області [15]

Назва річки	Притока	Куди впадає	Падіння річки, км	Середньо-зважений ухил, м/км	Площа басейну, км ²			Довжина річки, км		
					загальна	в межах України	в межах області	загальна	в межах України	в межах області
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Судость	ліва	Десна	180	0,4	5180	212	212	208	17	17
Сейм	ліва	Десна	352	0,18	27500	7400	837	748	228	56
Снов	права	Десна	233	0,30	8700	5377	5377	253	190	190
Остер	ліва	Десна	82	0,17	3228	3228	3228	195	195	195
Малотіч	права	Десна	468	2,2	143	143	143	21,1	21,1	21,1
Головесня	права	Десна	453	2,6	52	52	52	18	18	18
Убідь	права	Десна	362	0,59	1310	1310	1310	97	97	97
Берествиця	права	Десна	330	0,37	101	101	101	17	17	17
Пулка	права	Десна	264	0,19	112	112	112	16	16	16
Замглай	права	Десна	218	0,48	610	610	610	48,5	48,5	48,5
Стрижень	права	Десна	200	1,28	158	158	158	32,4	32,4	32,4
Білоус	права	Десна	187	0,59	614	614	614	56	56	56
Мена	права	Десна	303	0,41	723	723	723	61	61	61
Смячка	права	Десна	535	1,5	226	226	226	34	34	34
Студенка	права	Десна	509	2,47	202	202	202	19	19	19
Мета	права	Десна	103	0,93	239	239	239	15	15	15
Рукав Десенка	ліва	Десна	556	0,17	818	818	818	15	15	15
Доч	ліва	Десна	325	0,47	1541	1541	1541	53	53	53
Стара Десна	ліва	Десна	308	0,29	65	65	65	17	17	17

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Береза	ліва	Десна	292	0,15	85	85	85	30	30	30
Вересоч	ліва	Десна	272	0,26	647	647	647	45,7	45,7	45,7
Деменка	ліва	Десна	229	0,28	38	38	38	14	14	14
Вздвиг	ліва	Десна	180	0,28	369	369	369	31	31	31
Золотинка	ліва	Десна	169	0,23	32	32	32	18	18	18
Смолянка	ліва	Десна	152	0,29	365	365	365	42	42	42
Махнія	ліва	Десна	118	0,58	35	35	35	19	19	19
Старуха	ліва	Десна	162	0,25	210	210	210	26	26	26

Десна (рис. 2.6 А) за Водним кодексом України належить до великих річок (площа басейну – понад 50 тис. км²), а її притоки р. Сейм (рис. 2.6 Б), р. Снов, р. Остер – до середніх річок (площа басейну 2–50 тис. км²) [7].

Середньорічний стік р. Десна, який формується в межах Чернігівської області, становить 2029,307 млн м³. Із суміжних територій надходить 3266,545 млн м³ на рік. Таким чином, сумарний середньорічний стік р. Десна становить 5295, 852 млн м³.

Середньорічний стік приток Десни – р. Сейм, р. Снов та р. Остер, який формується в межах Чернігівської області, становить, відповідно, 98,638 млн м³, 562,600 млн м³ та 111,854 млн м³. Середньорічний стік, який надходить з суміжних територій, для р. Сейм – 3142,163 млн м³, р. Снов – 347,688 млн м³. Таким чином, сумарний середньорічний стік становить для р. Сейм – 3240,801 млн м³, р. Снов – 910,288 млн м³, р. Остер – 111,854 млн м³.

Аналізуючи табл. 2.1 можна зазначити, що притоки Десни в Чернігівській області мають важливе значення, оскільки мають значні площі водозборів та довжини (річки Снов, Остер, Доч, Убідь) і активно впливають на формування водного режиму. Такі притоки, як р. Сейм, р. Рукав Десенка, р. Мена, р. Білоус, р. Замглай, р. Вересоч, р. Смолянка, р. Вздвиг формують локальні басейни і часто живлять основне русло у маловоддя.

Найчастіше пересихають у літній період малі притоки Десни в Чернігівській області, що мають невелику довжину та незначну площу басейну, а саме: р. Студенка, р. Смячка, р. Стрижень, р. Судость, р. Мета, р. Малотіч, р. Стара Десна, р. Береза, р. Старуха, р. Махнія, р. Головесня, р. Пулка, р. Берестовиця, р. Золотинка, р. Деменка.

Басейн Десни в Чернігівській області також має численні малі притоки, які зазвичай не мають гідрологічного впливу на увесь басейн, але відіграють важливу екологічну роль для локальних біоценозів.



А



Б

Рис. 2.6. Десна в Чернігові (А) та її ліва притока р. Сейм (Б) в Чернігівській області [55, 58]

2.4.2. Гідроморфологія. Ширина долини р. Десна коливається в межах 4–12 км. Ширина русла р. Десна в межах Чернігівської області коливається від 85 до 200 м. Максимальна швидкість течії становить 1,0 м/с, а мінімальна – 0,3 м/с.

Русло річки від кордону України до м. Короп звивисте, ділиться на низку рукавів, середня ширина – 100 м, найбільша – 210 м. Середня глибина річки – 2,0–3,0 м, найбільша – 14 м. Швидкість течії в межень 0,3–1,0 м/с.

На ділянці до м. Чернігова русло нестійке, звивисте, утворює багато мілин, кіс і перекатів, його ширина 130–200 м, максимальна – 450 м. Глибина річки 2,0–4,0 м, найбільша – 17 м. Швидкість течії змінюється від 0,4 до 1,0 м/с.

Нижче м. Чернігів до гирла русло дуже нестійке, сильно звивисте, з великою кількістю стариць і протоків. Переважна ширина річки 160–180 м, найменша – 65 м, найбільша – 320 м. Переважаючі глибини 3,0–4,0 м, найбільша – 14 м, найменша – 0,5 м. Швидкість течії 0,6–0,7 м/с.

Річка Десна, на відміну від інших великих річок, не є зарегульованою – на ній не створено перешкод для вільної течії у вигляді гребель водосховищ. Завдяки цьому, заплава річки збережена у близькому до природного стані, що сприяє підтриманню оптимального гідрологічного режиму та забезпечує фільтрацію і самоочищення води. Одночасно з цим, для Десни властива велика природна інтенсивність переформування русла. Через меандрування та водну ерозію постійно відбувається розмив та руйнування берегів річки. Ці явища спостерігаються практично на всіх високих берегах увігнутих звивин. Береги випуклих звивин є акумулятивними формами русла.

На деяких ділянках річки спостерігається тенденція до прориву меандр, внаслідок чого утворюється нове русло. Як правило, під інтенсивний розмив підпадають високі піщані береги річки, деформації яких супроводжуються обрушенням в річку великих мас ґрунту з берегових уступів і падінням дерев та кущів, якими залісна значна частина прибережних територій. Середня висота розмивних берегів складає 3–4 м, на окремих ділянках їх висота сягає 10–15 м. Руйнування берегів на значних ділянках або природне спрямлення (прориви) русла можуть спричинити негативні екологічні наслідки – застійні явища, просадки рівнів води та інше, також в результаті розмиву берегів втрачаються цінні прибережні землі.

Загальна довжина річкової мережі в басейні Десни в межах України складає 8427 км, в тому числі великих річок – 571 км, середніх – 749 км, малих – 7017 км (табл. 2.2). Найбільшу кількість річок має Чернігівська область – 84 % (981 шт.) від загальної кількості річок басейну р. Десна. Крім того, в Чернігівській області зосереджено переважна більшість річок як за кількістю, так і за довжиною. Малі річки області відчувають досить значне антропогенне навантаження. Більшість їх маловодні, а деякі з них влітку пересихають. У більшій частині малих річок долини заглиблені слабо і

зливаються з прилеглими болотами, русла річок виражені нечітко, в деяких випадках висота їх настільки мала, що води цих річок під час весняного водопілля вільно переливаються в долини.

Таблиця 2.2. Загальні відомості про річки басейну Десни в Україні [15]

Область	Кількість річок				Довжина в межах регіону			
	Загальна кількість, шт.	Великі, шт.	Середні, шт.	Малі, шт.	Всього, км	Великі, км	Середні, км	Малі, км
Чернігівська	981	1	4	976	5731	505	458	4768
Сумська	172	1	2	169	2447/(2484)	37*	291	2156
Київська	19	1	-	18	249	66	-	183
<i>Всього</i>	1163	1	5	1157	8427	571	749	7107

Примітка. 37* – по адмінмежах областей, не враховується в сумі.

2.4.3. Гідрологічний режим річок. Внутрішньорічний хід рівнів води річок басейну Десни характеризується високим весняним водопіллям, низькою літньою і зимовою меженню та дещо підвищеними рівнями у осінній період.

Річки мають змішаний тип живлення. Частка живлення від танення снігу становить бл. 50 %, атмосферних опадів – 30 %, підземних вод – 20 %.

Весняний підйом рівня води зазвичай починається у другій половині березня. Найвищий рівень весняного водопілля у верхів'ях Десни, Сейму та їхніх приток настає переважно на початку квітня, на нижній ділянці – у кінці квітня. Загальна тривалість водопілля на Десні становить 2–3 місяці, а в деякі роки – до 4-х місяців.

Приклад одного такого водопілля на панхроматичному знімку від 29.03.2013 р. на водогосподарській ділянці «Річка Десна від гідропоста Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)» наведено на рис. 2.7.

Як видно з рис. 2.7, основне русло Десни добре проявляється, однак навколо нього спостерігається широке затоплення, вода виходить за межі русла й поширюється на заплаву. Також, через рівнинний рельєф спостерігається велика кількість меандрів, звивин.

Річний мінімум рівнів встановлюється зазвичай під час літньо-осінньої межени. Однак, під час меженного періоду майже щорічно спостерігаються короточасні паводки, що повторюються протягом літа 2–3 рази. Висота дощових паводків зазвичай невелика – 1,0–1,5 м, але в окремі роки випадають інтенсивні і тривалі дощі, внаслідок яких рівні води підвищуються до 2,0–2,5 м.

Зимові рівні дещо вищі літніх. За рахунок зимових відлиг можуть спостерігатись зимові паводки з незначними підйомами рівнів до 1,0–2,0 м.

Зимовий режим річок характеризується стійким і тривалим льодоставом, що зазвичай настає в першій половині грудня. В окремі роки спостерігаються ранні замерзання – в кінці листопада, а пізні – в січні. Середня тривалість льодоставу – 3,5–4 місяці. Весняний льодохід починається в кінці березня, а на початку квітня річка очищається від льоду. Середня товщина льоду на Десні – 40 см. Середня витрата води – 168–361 м³/с, максимальна – 8090 м³/сек. (18.04.1917 р.). Модуль поверхневого стоку річки Десна в регіоні – 3,2–3,6 л/с з 1 км².



Рис. 2.7. Приклад прояву весняного водопілля на водогосподарській ділянці «Річка Десна від гідропоста Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)» на панхроматичному знімку Landsat 8 від 29.03.2013 р.

Стік р. Десна на українській ділянці річки реєструється на трьох гідрологічних постах: Розльоти (відстань від гирла – 461 км), Чернігів (205 км) і Літки (36 км). За наявним рядом спостережень на гідропосту Чернігів середня багаторічна витрата води становить 329 м³/с, на гідропосту Літки

вона дорівнює 358 м³/с. Модуль стоку води в річці змінюється від 5,0 л/с з 1 км² біля м. Новгород-Сіверський до 4,3 л/с з 1 км² біля м. Чернігів. Для річки характерні значні природні коливання підйому та спаду води (високі – під час весняного водопілля та низькі у літньо-осінню та зимову межень). Амплітуда коливань рівня на окремих ділянках річки сягає 8–9 м. Глибина русла в межений період становить 2,5–4,0 м [50, 31].

Формування хімічного складу води р. Десна відбувається на водозборі, долина якого у середній і нижній течіях проходить у крейдових відкладах, дренуючи водоносні горизонти мергельно-крейдової товщі [65]. Вплив підземних вод, багатих на карбонати кальцію та магнію, а також значне поширення багатих на карбонати суглинків обумовлюють виражений гідрокарбонатно-кальцієвий склад та помірну мінералізацію води (табл. 2.3), що зростає з просуванням до гирла річки. р. Десна.

Таблиця 2.3. Середньорічна концентрація головних йонів та мінералізація води р. Десна, мг/дм³ [65]

Пункт	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Мінералізація
с. Розльоти	222,6	15,5	14,9	58,7	10,3	8,5	330,5
м. Чернігів	224,2	24,4	18,5	61,6	12	16,1	356,2

2.4.4. Гідрографічне та водогосподарське районування. Згідно з гідрографічним районуванням, на території України виділяється 9 районів басейнів річок (РБР), серед яких найбільшим є РБР Дніпро, в якому виділяється 5 суббасейнів: Верхнього Дніпра, Середнього Дніпра, Нижнього Дніпра, річки Прип'ять та річки Десна [17, 59, 61].

Згідно з водогосподарським районуванням, суббасейн р. Десна поділяється на 6 водогосподарських ділянок: 1) р. Десна від державного кордону до гирла р. Сейм; 2) р. Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм, Снов); 3) р. Десна від гідропоста Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер); 4) р. Сейм від гідропоста Мути до гирла; 5) р. Остер; 6) р. Снов (табл. 2.4) [47].

Як видно з табл. 2.4, найбільшу площу в суббасейні р. Десна займає водогосподарська ділянка «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм та Снов)» – понад 30 % від загальної площі суббасейну (6839 км² з 22670 км²).

Наступною за величиною є водогосподарська ділянка «Річка Снов», яка охоплює 24 % (5377 км²) від загальної площі суббасейну. Середніми за площею є водогосподарські ділянки «Від гідропоста Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)» – 18 % (3995 км²) та «Річка Остер» – 14,23 % (3228 км²). Найменші площі мають водогосподарські ділянки «Річка Десна від державного кордону до гирла р. Сейм» – 10,5 % (2390 км²) та «Річка Сейм

від гідропоста Мутин до гирла» – 3,7 % (837 км²) від загальної площі суббасейну.

Таблиця 2.4. Площі водогосподарських ділянок суббасейну р. Десна та розподіл річок між ними [15]

Назва водогосподарської ділянки	Площа ділянки, км ²	Великі річки		Середні річки		Малі річки > 10 км		Малі річки < 10 км		Разом	
		Кількість, шт	Довжина, км	Кількість, шт	Довжина, км	Кількість, шт	Довжина, км	Кількість, шт	Довжина, км	Кількість, шт	Довжина, км
р. Десна від державного кордону до гирла р. Сейм	2390	Десна	215	1	17	14	262	746	193	89	687
р. Десна від гирла р. Сейм до г/п Чернігів (виключаючи річки Сейм, Снов)	6839	Десна	155	-	-	25	755	246	750	271	1660
р. Десна від г/п Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)	3995	Десна	135	-	-	21	445	62	168	83	748
р. Сейм від г/п Мутин до гирла	837	-	-	1	56	3	35	-	-	4	91
р. Остер	3228	-	-	1	195	11	266	234	647	246	1108
р. Снов	5377	-	-	1	190	33	734	253	513	287	1437
Всього	22670	1	505	4	458	107	2497	869	2271	981	5731

В цілому, при найбільшій площі водогосподарська ділянка «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів, виключаючи річки Сейм та Снов» (рис. 2.8) має значну довжину річок та найбільшу кількість малих приток.

Водогосподарські ділянки «Річка Снов» та «Річка Остер» мають високу густоту малих приток. Щодо найменшої водогосподарської ділянки «Річка

Сейм від гідропоста Мутин до гирла», то вона має найменше гідрологічне значення, на ній протікає одна середня і 3 малі річки до 10 км.

Більшість малих річок маловодні, а деякі з них влітку пересихають. Русла низки річок виражені нечітко, тому часто зливаються з прилеглими болотами. Частина малих річок повністю або частково є магістральними каналами меліоративних осушувальних систем зі шлюзами-регуляторами. Найбільшими з таких річок є Мена, Турчанка, Смолянка, Ромен, а також річка Остер.

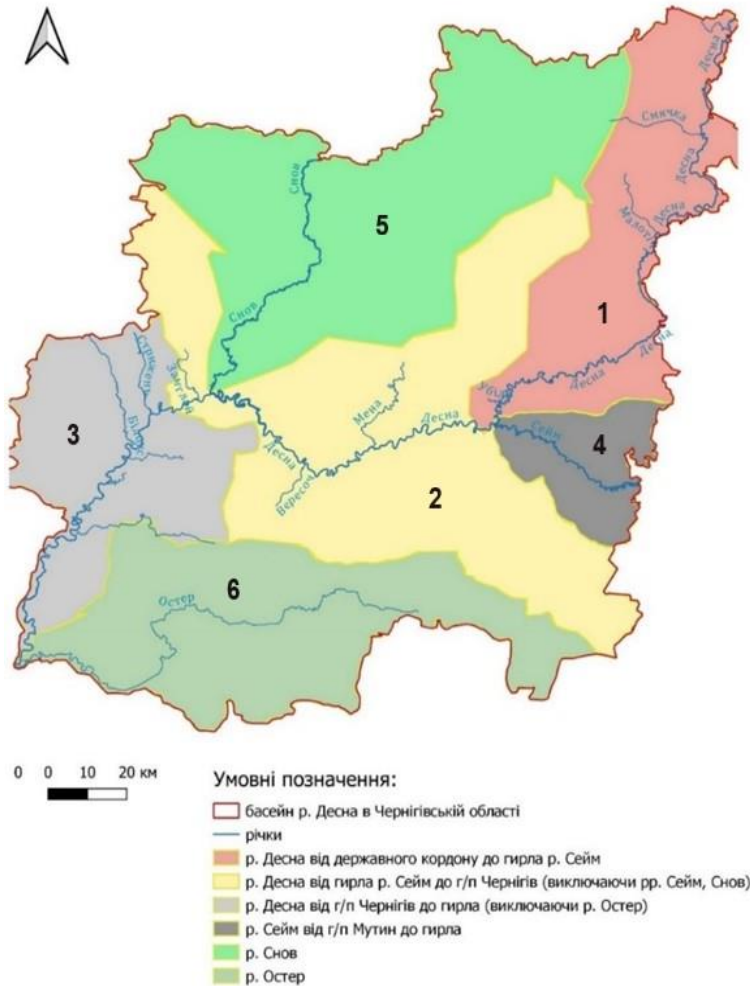


Рис. 2.8. Водогосподарські ділянки в суббасейні Десни: 1) р. Десна від державного кордону до гирла р. Сейм; 2) р. Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернівців (виключаючи річки Сейм, Снов); 3) р. Десна від гідропоста Чернівців до гирла (виключаючи р. Остер); 4) р. Сейм від гідропоста Мутин до гирла; 5) р. Остер; 6) р. Снов [15]

2.4.5. Озера. Всього у басейні Десни в Чернігівській області налічується 1200 озер загальною площею водного дзеркала 5572,0 га та сумарним об'ємом 121,56 млн. м³ (табл. 2.5).

Найбільша кількість озер (352 шт.) зосереджена на ділянці «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм та Снов)» – 29 % від загальної кількості. Натомість, ділянка «Річка Сейм від гідропоста Мутин до гирла» має 122 озера, «Річка Остер» – 55 озер, «Річка. Снов» – 11 озер, тобто, значно менше.

Таблиця 2.5. Відомості про наявність озер в басейні Десни за водогосподарськими ділянками [15]

Назва водогосподарської ділянки	Кількість, шт.	Об'єм води, тис.м ³	Площа водного дзеркала, га
р. Десна від державного кордону до гирла р. Сейм	317	28997,9	1564,5
р. Десна від гирла р. Сейм до г/п Чернігів (виключаючи рр. Сейм, Снов)	352	48587,7	1994,6
р. Десна від г/п Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)	343	34854,9	1505,1
р. Сейм від г/п Мутин до гирла	122	6781,3	344,8
р. Остер	55	1889,8	97,5
р. Снов	11	449,6	65,5
<i>Всього по басейну</i>	1200	121561,2	5572,0

Найбільшу площу водного дзеркала озер відзначено також на ділянці «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм та Снов)» – 1994,6 га, що становить 35,8 % від загальної площі водної поверхні озер басейну Десни в Чернігівській області. Найменшу площу водного дзеркала озер відзначено на ділянках «Річка Остер» – 1,75 %, «Річка. Снов» – 1,18 %.

За цим же принципом складається і пропорція між ділянками стосовно об'єму води в озерах: «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм та Снов)» – 40 %; Найменшу площу водного дзеркала озер відзначено на ділянках «Річка Остер» – 1,6 %, «Річка. Снов» – 0,4 %.

Типізація озер басейну Десни в Чернігівській області за площею водного дзеркала, виконана з вимогами ВРД ЄС, виявила відсутність «дуже великих» та «великих» озер. Серед «середніх» є 2 озера (озеро без назви у с. Іванівка та Чумак у с. Замглай), серед «малих» – 4 озера (Магістрацьке у м. Чернігів, озеро без назви у с. Киселівка, Комаретське у с. Блистова, озеро без назви у с. Слабин). Переважна більшість озер басейну Десни в Чернігівській області належить до «дуже малих» – 1194 озера (99,5 %). (табл. 2.6).

Основні морфометричні характеристики середніх і малих озер басейну Десни в Чернігівській області наведено в табл. 2.7. Найбільшим за площею водного дзеркала (1,68 км²) та об'ємом води (2688,0 тис.м³) є озеро Чумак, яке розташоване в с. Замглай. Але найглибшим є озеро Магістрацьке (м. Чернігів), з середньою глибиною – 3,10 м. Найменшим за площею дзеркала є озеро Комаретське (с. Блистова) – 0,60 км². Озера без назви (с. Іванівка, с. Киселівка, с. Слабин) є найменшими за середньою глибиною, яка становить 1,0 м. Найменшим за об'ємом води є озеро без назви у с. Киселівка (9,22 тис.м³).

Таблиця 2.6. Типізація озер басейну Десни в Чернігівській області за площею водного дзеркала згідно Водної рамкової директиви ЄС [15]

Тип озера	Площа водного дзеркала, км ²	Кількість озер	Частка від загальної кількості, %
Дуже велике	> 100	0	0
Велике	10-100	0	0
Середнє	1,0-10	2	0,16
Мале	0,5-1,0	4	0,34
Дуже мале	< 0,5	1194	99,5
<i>Всього</i>		1200	100

Варто зазначити, що озера басейну Десни у Чернігівській області переважно є заплавними, утвореними внаслідок її меандрування. Це стариці, які утворилися в результаті переміщення річкових русел. Озера, що розташовані на низьких надзаплавних терасах, також являють собою залишки давніх русел. В період весняного водопілля озера заливаються річковими водами і є місцями нересту риб.

Таблиця 2.7. Морфометричні характеристики середніх і малих озер (за площею водного дзеркала) в басейні Десни в Чернігівській області [15]

Назва водойми	Місце-знаходження	Площа дзеркала, км ²	Середня глибина, м	Об'єм води, тис. м ³	Басейн малої/середньої /великої річки
Чумак	с. Замглай	1,68	1,60	2688,0	Замглай/Десна
Озеро б/н*	с. Іванівка	1,08	1,00	10,8	Десна
Озеро б/н	с. Киселівка	0,92	1,00	9,22	Замглай/Десна
Озеро б/н	с. Слабин	0,74	1,00	738,00	Верепет/Десна
Магістрацьке	м. Чернігів	0,63	3,10	1 953,00	Десна
Комаретське	с. Блистова	0,60	3,00	1 800,00	Десна

Примітка. б/н* – без назви.

Живляться озера атмосферними опадами, поверхневим стоком з прилеглих водозборів, підземними водами. Низка озер має постійний зв'язок

з річками через рукави, протоки та стариці. Озера, як правило, заростають водно-болотною рослинністю, а береги – чагарниками [15].

2.4.6. Водосховища. Згідно з Водним кодексом України водосховищем вважається штучна водойма з об'ємом води понад 1 млн м³, з меншим об'ємом – це ставок [7].

В Чернігівській області діє 24 водосховища загальною площею водного дзеркала 2186,6 га і об'ємом 47467,8 тис. м³, які були створені для регулювання річкового стоку з метою його рівномірного розподілу. Серед них 6 водосховищ знаходиться в басейні Десни (площа водного дзеркала – 527,6 га, загальний об'єм – 10690,0 тис. м³).

Розподіл водосховищ басейну Десни в Чернігівській області за водогосподарськими ділянками наведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8. Розподіл водосховищ в Чернігівській області за водогосподарськими ділянками [15]

Назва водогосподарської ділянки	Кількість, шт.	Об'єм води, тис. м ³	Площа водної поверхні, га
р. Десна від державного кордону до гирла р. Сейм	0	0,0	0,0
р. Десна від гирла р. Сейм до г/п Чернігів (виключаючи рр. Сейм, Снов)	3	3570,0	138,1
р. Десна від г/п Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)	0	0,0	0,0
р. Сейм від г/п Мутин до гирла	0	0,0	0,0
р. Остер	1	3000,0	100,0
р. Снов	2	3600,0	184,0
<i>Всього по басейну</i>	6	10690	527,6

Таким чином, відповідно до розподілу водосховищ в басейні Десни в Чернігівській області (див. табл. 2.8) наявні: 3-и водосховища на ділянці «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм та Снов)» із сумарним об'ємом води 3570,0 тис. м³ та площею водної поверхні – 138,1 га; 2-а водосховища на ділянці «Річка Снов» із сумарним об'ємом води 184,0 тис. м³ та площею водної поверхні 138,1 га; одне водосховище на ділянці «Річка Остер». з об'ємом води 3000,0 тис.м³ та площею водної поверхні 100,0 га. Великих водосховищ, які були б співмірними з водосховищами Дніпровського каскаду, на території Чернігівської області немає.

2.4.7. Ставки. На території Чернігівської області споруджено 1805 ставків (площею > 0,5 га), сумарним об'ємом 127,9 млн. м³ та загальною площею водного дзеркала 7336,7 га [15].

Розподіл штучних водойм по території нерівномірний. Найбільше їх розташовано в південно-східних районах області: Варвинському, Ічнянському, Прилуцькому, Срібнянському, Талалаївському (назви районів наведено за номенклатурою до реформи 2020 р.), де наявна розвинена яружно-балкова форма рельєфу. Для районів Полісся характерними є копані ставки, для Лісостепу – ставки руслового типу. Розподіл ставків у басейні Десни в Чернігівській області наведено в табл. 2.9.

Таблиця 2.9. Розподіл ставків у басейні Десни в Чернігівській області за водогосподарськими ділянками [15]

Назва ділянки	Руслові ставки			Наливні ставки			Копані ставки		
	Кількість, шт.	Об'єм води, тис.м ³	Площа водної поверхні, га	Кількість, шт.	Об'єм води, тис.м ³	Площа водної поверхні, га	Кількість, шт.	Об'єм води, тис.м ³	Площа водної поверхні, га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
р. Десна від державного кордону до гирла р. Сейм	24	7571,8	446,2	0	0,0	0,0	61	1460,4	102,8
р. Десна від гирла р. Сейм до г/п Чернігів (виключаючи рр. Сейм, Снов)	72	9286,0	460,6	3	2011,8	60,2	327	21662,9	1001,8
р. Десна від г/п Чернігів до гирла (виключаючи р. Остер)	10	843,4	67,1	5	3590,7	303,5	84	8645,9	593,5
р. Сейм від г/п Мути до гирла	8	1708,4	79,3	0	0,0	0,0	69	1946,2	108,1

Закінчення таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
р. Остер	10	944,0	51,8	3	1640,0	60,6	205	6275,5	361,8
р. Снов	23	4327,0	283,2	1	324,0	17,0	149	6321,1	371,1
<i>Всього по басейну</i>	147	24680,6	1388	12	7566,5	441,3	895	46312,0	2539,1

Як видно з табл. 2.9, водогосподарська ділянка «Річка Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів (виключаючи річки Сейм та Снов)» значно випереджає інші ділянки за наявністю ставків (руслів – 72 шт., наливні – 3 шт., копані – 327 шт.), їхньою сумарною площею та об'ємом.

Звертає на себе увагу той факт, що на найменших за площею водогосподарських ділянках («Річка Остер» та «Річка Снов») розташовано порівняно багато ставків. Хоча, якщо розглядати площі та об'єми цих водойм, то тоді ці ділянки уступають іншим. Це свідчить про наявність в них великої кількості дрібних ставків.

Ставки, в основному, використовуються для подачі води на зволоження, як водоприймачі меліоративних систем, для риборозведення, рекреації, господарсько-побутових потреб, а також для протипожежних заходів.

2.4.8. Забір води. Термін «забір води» означає процес отримання води з водних об'єктів (річок, озер, підземних водоносних горизонтів) для різних потреб, як-от питне водопостачання чи промислове використання. Інформація про забір води протягом 1990-2023 рр. по Чернігівській області, згідно з даними державного обліку водокористування (форма № 2ТП-водгосп), ілюструється на рис. 2.9.

Можна констатувати, що за цей період відбулося значне скорочення забору води (як загального, так і поверхневих та підземних вод). Наприклад, загальний водозабір зменшився від 293,9 млн м³ (1990 р.) до 67,6 млн м³ (2023 р.) – тобто у 4,3 рази. Якщо ж за кінцевий орієнтир взяти передвоєнний 2021 р., коли забір води був 102,2 млн м³ (див. рис. 2.9), то скорочення становитиме лише в 2,9 рази. Водозабір поверхневих вод зменшився в 4,7 рази: від 140,9 млн м³ (1990 р.) до 30,1 млн м³ (2023 р.). Водозабір підземних вод зменшився в 4,2 рази: від 153 млн м³ (1990 р.) до 36,5 млн м³ (2023 р.).

Варто відзначити, що в 2002–2021 рр. забір води в Чернігівській обл. з поверхневих водних об'єктів був стабільно більшим, ніж з підземних водоносних горизонтів. Але в 2022 р. та 2023 р. ця пропорція змінилася. Частка підземних вод у загальному водозаборі сягнула 52 % та 54 %

Питне водопостачання Чернігова на 100 % здійснюється підземними водами сеноман-нижньокрейдяного та бучацького водоносних горизонтів.

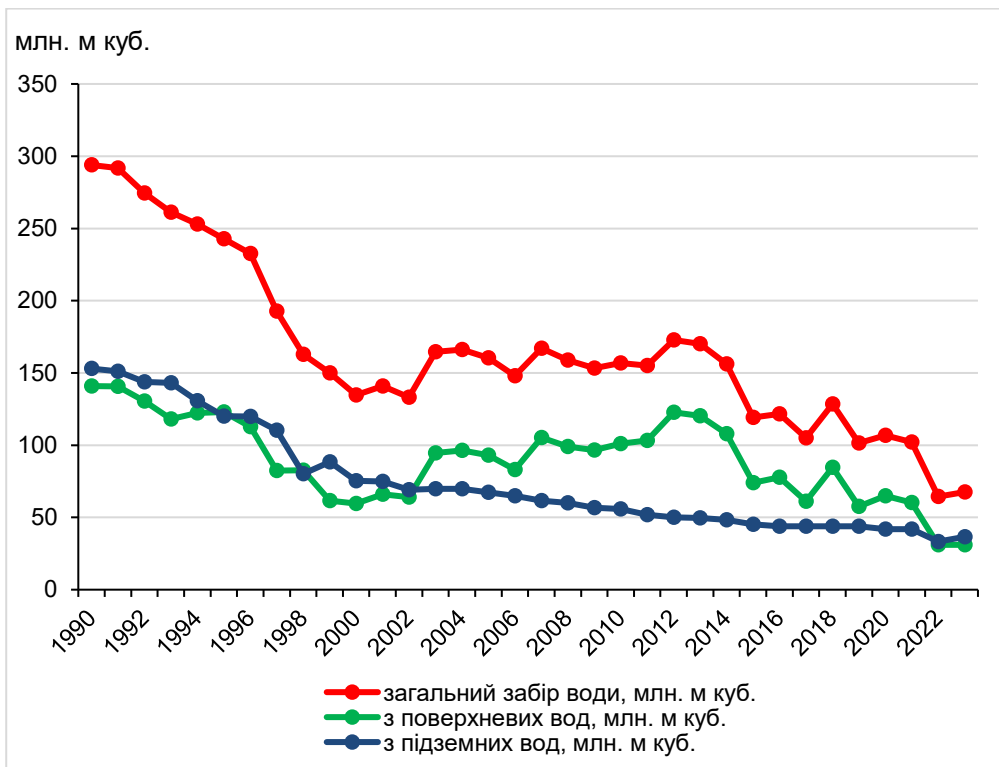


Рис. 2.9. Забір води (загальний, поверхневих та підземних вод) по Чернігівській області протягом 1990-2023 рр. [15]

Частка використання води підприємствами різних галузей економіки Чернігівської області в 2023 р. наведено у табл. 2.10.

Таблиця 2.10. Використання води підприємствами галузей економіки Чернігівської області в 2023 р. [15]

Галузі економіки	Обсяг	
	млн м ³	%
Промисловість	32,92	56
<i>в т.ч. електроенергетика</i>	28,48	-
Житлово-комунальне господарство	19,83	34
Сільське господарство	5,71	10
Всього	58,46	100

Головними водокористувачами є промисловість (56 % від загального водокористування) і житлово-комунальна сфера (34 %). Варто зазначити, що в інтегральний показник «промисловість» входить електроенергетика, яка використовує 87 % води з частки «промисловості».

2.4.9. Скиди зворотних вод. Зворотна води – це вода, яка повертається до природних водних об’єктів за допомогою технічних засобів

після її використання в господарських та побутових цілях.. Основу зворотних вод становлять стічні води (господарсько-побутові та промислові). Інформація про скид зворотних вод протягом 2004–2023 рр. у Чернігівській області ілюструється на рис. 2.10.

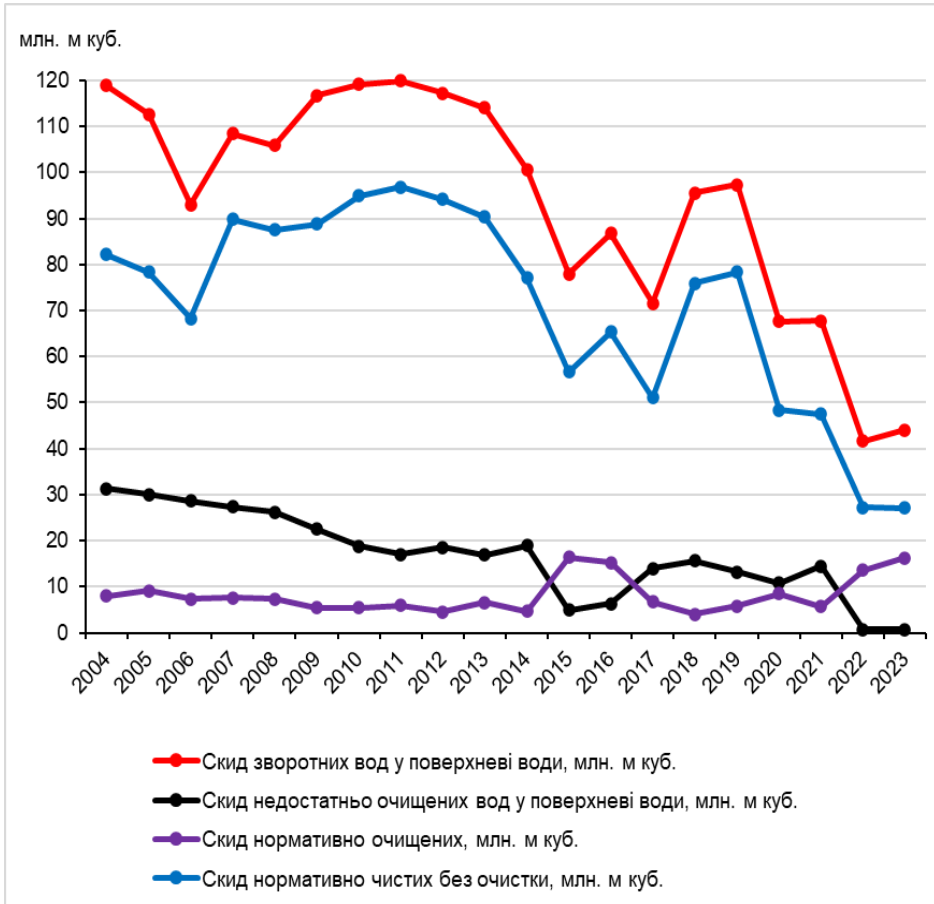


Рис. 2.10. Скид зворотних вод (загальний, нормативно очищених, нормативно чистих без очищення, недостатньо очищених) по Чернігівській області протягом 2004-2023 рр. [15]

Хоча не так чітко, як при заборі води, у скидах зворотних вод протягом 2004–2023 рр. спостерігається загальний тренд до їхнього скорочення. Однак, він порушується в окремі роки деякими сплесками локального зростання обсягів скидів (наприклад, 2006–2010 рр.) – див. рис. 2.10.

Загальний скид зворотних вод зменшився від 120 млн м³ (1990 р.) до 44 млн м³ (2023 р.) – тобто у 2,7 рази. Якщо ж за кінцевий орієнтир взяти передвоєнний 2021 р., коли скид зворотних вод був 68 млн м³ (див. рис. 2.10), то скорочення становитиме лише в 1,8 рази.

Річки басейну Десни зазнають значного навантаження від впливу скидів зворотних вод. Причому, 2 % зворотних вод надходять у річки у статусі «забруднені», 61 % – «нормативно чисті без очищення» (табл. 2.11).

Таблиця 2.11. Скиди зворотних вод різного ступеня очищення у поверхневі водні об'єкти Чернігівської області в 2023 р. [15]

Характеристика ступеня очищення зворотних вод	Обсяг	
	млн м ³	%
Забруднені	0,65	2
Нормативно очищені	16,24	37
Нормативно чисті без очищення	27,15	61
Всього	44,04	100

Найбільші обсяги зворотних вод відводить промисловість (62 % від загального водовідведення), за нею – житлово-комунальна сфера (36 %) – табл. 2.12. Варто зазначити, що в інтегральний показник «промисловість» входить електроенергетика, водовідведення якої становить 96 % від частки «промисловості».

Таблиця 2.12. Водовідведення за галузями економіки в Чернігівській області в 2023 р. [15]

Галузі економіки	Обсяг	
	млн м ³	%
Промисловість	27,17	62
<i>в т.ч. електроенергетика</i>	26,19	-
Житлово-комунальне господарство	15,95	36
Сільське господарство	0,92	2
Всього	44,04	100

Основними джерелами забруднення поверхневих вод басейну Десни в Чернігівській області є господарсько-побутові та промислові стічні води. Малоефективна робота очисних споруд каналізації негативно впливає на якість води річок Білоус, Борзенка, Десна, Остер, В'юниця, Вздвижа, Снов, Іченька, Удай [15].

Варто мати на увазі, що на території РФ у Брянській області формується 53 % водного стоку Десни. Тому певну небезпеку для річок басейну Десни в Чернігівській області становлять підприємства хімічної промисловості та інші, які розташовані на транскордонних річках за межами України.

3. ОЦІНКА СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ ДЕСНИ В МЕЖАХ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ

3.1. Багаторічна динаміка деформації русла Десни

Русло річки є досить динамічним природним елементом, форма й розміщення залежить як від природних, так і антропогенних чинників, які призводять до деформацій русла внаслідок меандрування, розмиву і накопичення наносів, що досить суттєво впливає на прибережну територію. Такі дії чинників найчастіше призводять до розмиву сільськогосподарських угідь, й стрімкого наближення річки до житлової забудови. Тому детальний аналіз багаторічної динаміки руслових процесів дає можливість дослідити зміни й вжити необхідні заходи щодо стабілізації наслідків впливу на прибережну територію річки.

Відповідно до Методики визначення масивів поверхневих вод типологія та делініяція річок в суббасейні Десни здійснювалася за системою А ВРД ЄС [34]. Згідно цього, суббасейн Десни знаходиться в межах екорегіону Східні рівнини [48].

За площею водозбору річки належать до «малих» (менше 100 км²), «середніх» (100–1000 км²), «великих» (1000–10000 км²) та «дуже великих» (більше 10 000 км²) річок.

Відповідно до висоти водозбору річки суббасейну розташовані на низовині (менше, ніж 200 м).

Гірські породи в суббасейні представлені одним типом: силікатні (Si). Визначено 4 типи МПВ категорії «річки», а саме: UA_R_16_S_1_Si (мала річка на низовині в силікатних породах), UA_R_16_M_1_Si (середня річка на низовині в силікатних породах), UA_R_16_L_1_Si (велика річка на низовині в силікатних породах) та UA_R_16_XL_1_Si (дуже велика річка на низовині в силікатних породах). Та один тип категорії «озера» - UA_L_16_S_SH_1_Si (мале озеро на низовині мілке в силікатних породах) [48].

Гідроморфологічні зміни, що виникають в результаті господарської діяльності, впливають на умови існування водних угруповань, наслідком чого може стати погіршення екологічного стану масивів поверхневих вод. Найбільш поширеними видами гідроморфологічних змін у суббасейнах Верхнього Дніпра та р. Десна є: порушення неперервності потоку води та середовищ, зміни гідрологічного режиму та морфологічні зміни [38].

Більше половини масив поверхневих вод у суббасейні є істотно зміненими. Із них 58 % зазнало спрямлення русла, 27 % масивів поверхневих вод зарегульовано водосховищами і ставками, а 15 % МПВ зазнали як спрямлення, так і зарегульованості [38].

Суттєвих змін зазнали правосторонні притоки р. Снов. Так, 70 % масивів поверхневих вод (21 із 30) є істотно зміненими (з причини зарегульованості – 2 МПВ, спрямлення – 15 МПВ, поєднання зарегульованості та спрямлення – 4 МПВ) [38].

Також можна відзначити басейн р. Остер, в якому 9 із 10 масивів поверхневих вод зазнали спрямлення. Річки басейну Берези на 62 % зазнали гідроморфологічних змін: 7 із 13 масивів поверхневих вод спрямлені, 1 масив поверхневих вод – поєднання спрямлення та зарегульованості. Серед 142 річок суббасейнів Верхнього Дніпра і р. Десна лише 42 річки (30 %) не зазнали жодних гідроморфологічних змін [38].

Аналізуючи наведене вище, можна зазначити, що дослідження гідроморфологічних змін в басейні р. Десна в Чернігівській області є досить актуальним завданням.

Одним з найбільш ефективних методів оцінки стану поверхневих вод внаслідок деформації русла річки є використання картографічного матеріалу за різні роки, оскільки формування річкових долин відбувається протягом досить тривалого геологічного періоду. Перетворення поздовжнього профілю річок (спрямовані врізання й акумуляція) може відбуватися в результаті прояву декількох причин: зміни клімату та фізико-географічних умов (рослинного покриву, тощо); тектонічних рухів (загальних, що викликають перекося земної поверхні та точкових, що утворюють окремі структури); коливань базису ерозії.

Тому вивчення деформацій та морфодинаміки водних об'єктів з використанням засобів ГІС та ДЗЗ дозволяє дослідити особливості руслових процесів, які проходять на різних ділянках в межах басейну Десни в Чернігівській області. Крім того, використання різночасових супутникових знімків дає можливість оцінки надходження речовин у водні об'єкти внаслідок деформації русла річки, які негативно впливають на стан річки, супроводжуються виносом великої кількості наносів, а також створюють загрозу руйнування території населених пунктів, господарських об'єктів тощо.

Для оцінки руслової деформації на різних морфодинамічних ділянках в межах басейну Десни було обрано супутникові знімки за 1983-2018 рр. При зіставленні космознімків за різні роки використовувався програмний продукт ArcGIS. Річка Десна була обрана для дослідження, оскільки вона є рівнинною річкою Придніпровського Полісся, яка має широкозаплавну долину, в межах якої відбуваються процеси вільного меандрування русла.

Сама річка Десна, на відміну від інших великих річок та її власних приток, не зарегульована – на ній не створено перешкод для вільної течії. Завдяки цьому, заплава річки збережена у природному вигляді, що сприяє підтриманню оптимального гідрологічного режиму та забезпечує фільтрацію і самоочищення води.

Одночасно з цим, для Десни властива велика природна інтенсивність переформування русла. Через її меандрування та водну ерозію постійно відбувається розмив та руйнування берегів річки. Ці явища спостерігаються практично на всіх високих берегах увігнутих звивин.

Береги випуклих звивин є акумулятивними формами русла. На деяких ділянках річки спостерігається тенденція до прориву меандр, внаслідок чого утворюється нове русло.

Як правило, інтенсивному розмиву підпадають високі піщані береги річки, деформації яких супроводжуються обрушенням в річку великих мас ґрунту з берегових уступів і падінням дерев та кущів, якими заліснена значна частина прибережних територій. Середня висота розмивних берегів складає 3–4 м, на окремих ділянках їх висота досягає 10–15 м.

Руйнування берегів на значних ділянках або природне спрямлення (прориви) русла можуть спричиняти негативні екологічні наслідки – застійні явища, просадки рівнів води та інше, також в результаті розмиву берегів втрачаються цінні прибережні землі.

Варто зазначити, що на середніх та малих річках в басейні Десни відбуваються гідроморфологічні зміни, зумовлені зарегульованістю русел, осушенням заболочених заплав, забудовою (урбанізацією) території заплав та необхідністю запобігання негативним наслідкам інтенсивних природних процесів переформування русла.

На території суббасейну морфологічні зміни річок представлені у вигляді спрямлених ділянок русел річок. Внаслідок масштабної меліорації у минулі роки виконувалися роботи з осушення заболочених заплав з метою їх подальшого використання під сіножаті та сільськогосподарські угіддя. При цьому здійснювалося спрямлення русел річок (частково, рідше – по всій протяжності), які в подальшому виконували функцію магістральних каналів осушувальних систем.

Ділянки природного підтоплення земель в Чернігівській області розташовані в основному в межах заплав р. Десна (колишні Новгород-Сіверський, Коропський, Сосницький, Менський, Куликівський, Козелецький райони), р. Сейм (колишні Бахмацький, Борзнянський райони), р. Снов (колишні Щорський, Городнянський райони) та на територіях з природними пониженнями рельєфу (колишні Ніжинський, Носівський, Куликівський, Корюківський райони).

Поєднання супутникових знімків за різні роки дозволило оцінити швидкість руслових деформації в межах басейну Десни, які полягають у зміщенні, закруті прямолінійного русла та поясів меандрування в бік одного з берегів (рис. 3.1).

Аналізуючи дані рис. 3.1 можна зробити висновок, що в результаті руслових процесів відбувається зміни положення русла Десни, яке супроводжується розширенням dna долини та формуванням більшої площі заплави річки.

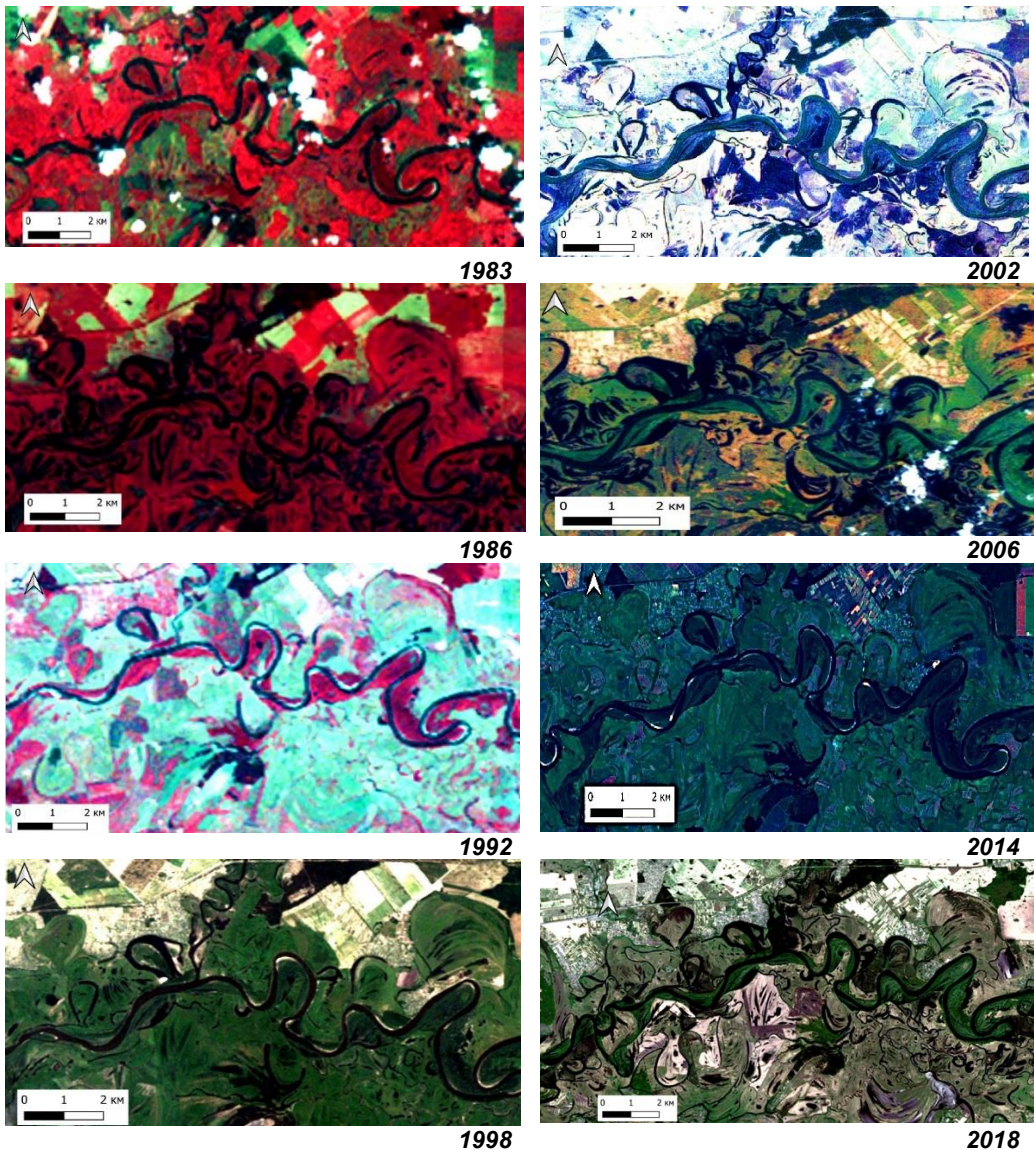


Рис. 3.1. Супутникові знімки, які відображають переформування берегів р. Десна в межах Чернігівської області (1983-2018 рр.)

Через звивистість русла та водну ерозію відбувається розмив та руйнування берегів на всіх високих увігнутих берегах звинин. В той же час, випуклі береги є акумулятивними формами русла Десни. Всі активні ерозійні процеси розмиву та руйнування берегів Десни відбуваються під час весняного водопілля, зменшуючись в літньо-осінню межень.

За допомогою різночасових супутникових знімків Landsat 4-8 з розрізненням 0,45 м було виділено ділянки на яких відбувається значне

переформування берегів р. Десна в межах Чернігівської області. Інформацію про ділянки деформацій наведено в табл. 3.1.

Впродовж 1995–2009 рр. за рахунок переформування берегів було втрачено близько 40 га прибережних земель у заплаві Десни [15].

Таблиця 3.1. Переформування берегів Десни в Чернігівській області за багаторіччя [15]

Найменування і розташування ділянок, на яких проводяться спостереження за переформуванням берегів р. Десна	Довжина ділянки, км	Період спостережень, роки	Інтенсивність розмиву за весь період спостережень, м / рік		Втрати земель всього, га	Середній багаторічний розмив, берегової лінії, м/рік
			середня	максимальна		
Ділянка лівого берега р. Десна біля с. Надинівка *Чернігівського району	2,12	1995-2017	2,7	14,0 (1996 р.)	4,64	2,6
Ділянка правого берега р. Десна біля селища Макошине Корюківського району (меандра нижче берегоукріплення)	1,4	1997-2017	1,5	14,0 (1998 р.)	2,16	1,5
Ділянка правого берега р. Десна біля селища Макошине Корюківського району (меандра біля Макошинського затону)	0,6	1997-2017	5,8	26,0 (1999 р.)	7,67	5,7
Ділянка правого берега р. Десна біля с. Мале Устя Корюківського району	1,0	2005-2017	0,7	10,5 (2006 р.)	0,73	0,7
Ділянка р. Десна біля с. Змітнів Корюківського району	3,0	2005-2017	0,5	0,7 (2014 р.)	-	2,0

Примітка. *Чернігівського району – назви районів після адмінреформи 2020 р.

Як видно з табл. 3.1, найінтенсивніший розмив спостерігається на ділянці правого берега р. Десна біля селища Макошине (меандра біля Макошинського затону), який становить 5,8 м / рік з втратою земель – 7,67 га, що свідчить про високу динамічність меандрування та значну ерозійну активність на цій ділянці. Це також можемо простежити на супутникових знімках (Landsat 4–8 з розрізненням 0,45 м) за період з 1983–2019 рр. (рис. 3.2).

Помірна інтенсивність зафіксована на ділянках: лівого берега р. Десна біля с. Надинівка, де середній розмив становить 2,7 м/рік, проте з втратою земель 4,64 га та правого берега р. Десна біля селища Макошине (меандра

нижче берегоукріплення) з середнім розмивом 1,5 м/рік та з втратою земель 2,16 га. Мінімальна інтенсивність зафіксована на ділянках: правого берега р. Десна біля с. Мале Устя з середнім розмивом 0,7 м/рік та з втратою земель 0,73 га; біля с. Змітнів.

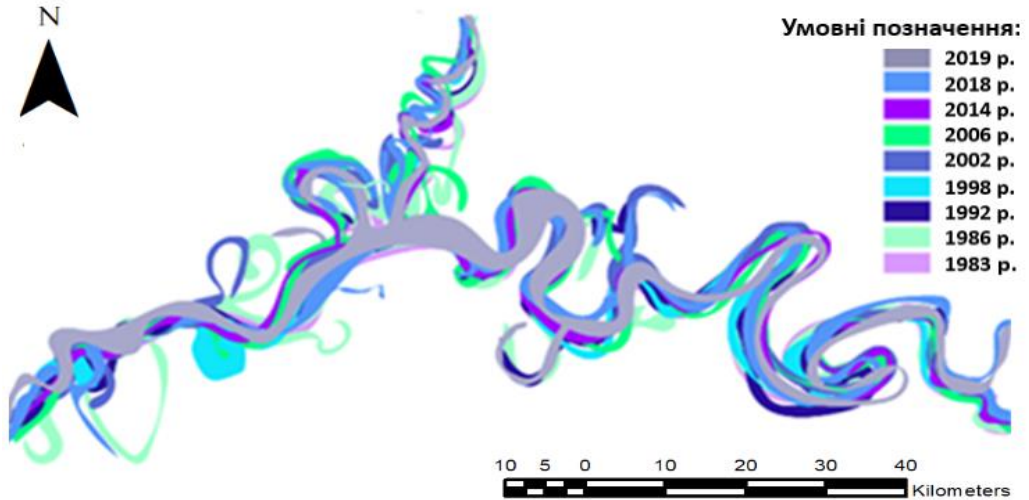


Рис.3.2. Суміщення зображень із супутникових знімків (Landsat 4-8 з розрізненням 0,45 м), яке відображає положення русла р. Десна на ділянці біля селища Макошине Чернігівської області в різні роки (1983-2019 рр.)

Активні руслові процеси на правому березі р. Десна спостерігаються на північно-східній околиці селища Макошине (рис. 3.3). Так, в 1998 р. в результаті повені відбувся інтенсивний розмив берега на 14 м. Оскільки, береговий уступ складено переважно дрібнозернистими пісками.

Селище Макошине, розташоване на правому березі р. Десна між двома меандрами, які досить активно розвиваються. Русло Десни, розвиваючи меандру своїм верхів'ям, примикає до західної околиці селища, де ще в 1950-і роки було розміщено дитячий санаторій (нині не працює). Відстань від будівель санаторію до бровки берега становить біля 100 м.

Руйнування берега відбувається за рахунок руслових деформацій і площинної ерозії. За рахунок площинного змиву нижче берегоукріплення на береговому уступі утворились три яри.

Друга меандра, що активно розвивається за Макошинським затоном, знаходиться в 750 м від північно-східної околиці селища і просувається в напрямку лощини, що змикається з староріччям Десни (Макошинським затоном).

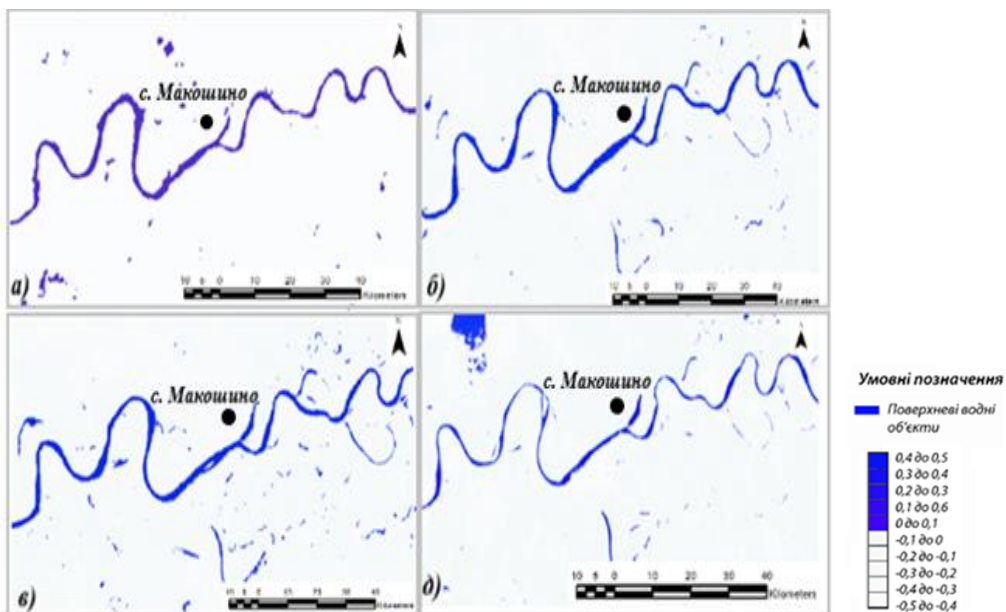


Рис. 3.3. Зображення змін прибережної території р. Десна біля селища Макошино Чернігівської області, отримані із застосуванням спектрального індексу NDPI на фрагменті супутникового знімку Landsat 4-8 за весняний період: а) 1983 р.; б) 1990 р.; в) 1998 р.; д) 2020 р.

В результаті аналізу супутникових зображень (див. рис. 3.3), встановлено, що р. Десна за 1983–2020 рр. меандрує в бік старого русла річки. В 1998 р. спостерігалось відкладення наносів, яке в 2020 р. відбувалось інтенсивніше.

На ділянці біля південно-східної околиці с. Мале Устя (рис. 3.4) утворилась меандра, яка розвивається поступово, внаслідок процесу вільного мандрування р. Десна. Вище села спостерігається багаторукавність річки. Найбільший розмив її берега відбувається у вершині меандри, тому що він складений легкорозмивними супісками та пісками. Біля південно-східної околиці с. Мале Устя внаслідок процесу вільного мандрування р. Десна утворилась меандра, яка відповідно до закономірностей руслових процесів, розвивається поступово. В результаті цих природних процесів річка переміщується в напрямку села, руйнуючи правий берег на ділянці довжиною близько 1,5 км, що створює загрозу руйнування будівель та присадибних ділянок розміщених на березі річки. До межі присадибних земельних ділянок жителів с. Мале Устя залишилось 5 м. Відстань до найближчих житлових та господарських будівель складає 35–150 м.

Як наслідок відбувається зміщення правого берега річки на 1,5 км, що створює загрозу руйнування будівель та погіршення умов проживання населення.

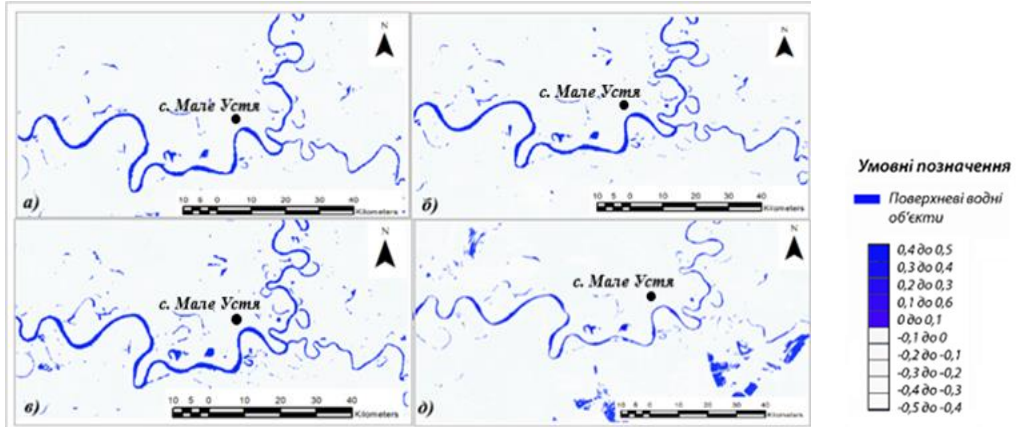


Рис. 3.4. Зображення руслових деформацій р. Десна на ділянці біля с. Мале Устя Чернігівської області, отримані із застосуванням спектрального індексу NDPI на фрагменті супутникового знімку Landsat 4-8 за весняний період: а) 1990 р.; б) 1998 р.; в) 2006 р.; д) 2020 р.

Неподалік с. Змітнів за рахунок руслової деформації правого берега за 50 років річка перемістилася в бік цього села на 70-100 м (рис. 3.5) [15].

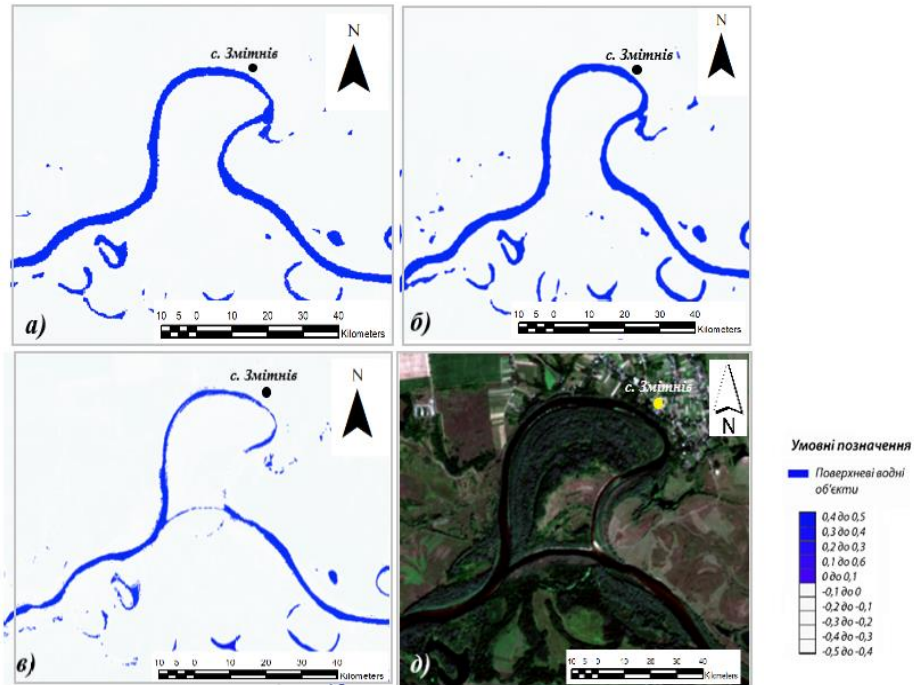


Рис. 3.5. Зображення руслових деформацій р. Десна біля с. Змітнів Чернігівської області, отримані із застосуванням спектрального індексу NDPI на фрагменті космічного знімку Landsat 4-8 за весняний період: а) 1990 р.; б) 1998 р.; в) 2020 р.; д) фрагмент супутникового знімку 2020 р.

Під час площинного змиву на береговому уступі утворилися два яри, один з яких досить динамічно розвивається. Через низьку висоту заплави річки під час весняної повені часто відбувається деяке затоплення родючих сільськогосподарських земель, деяких частин населених пунктів. В результаті чого відбувається змив біогенних елементів з прибережної території в Десну. В той же час, в період межені в 2020 р. спостерігалось зменшення водності річки, що призводило до її обміління.

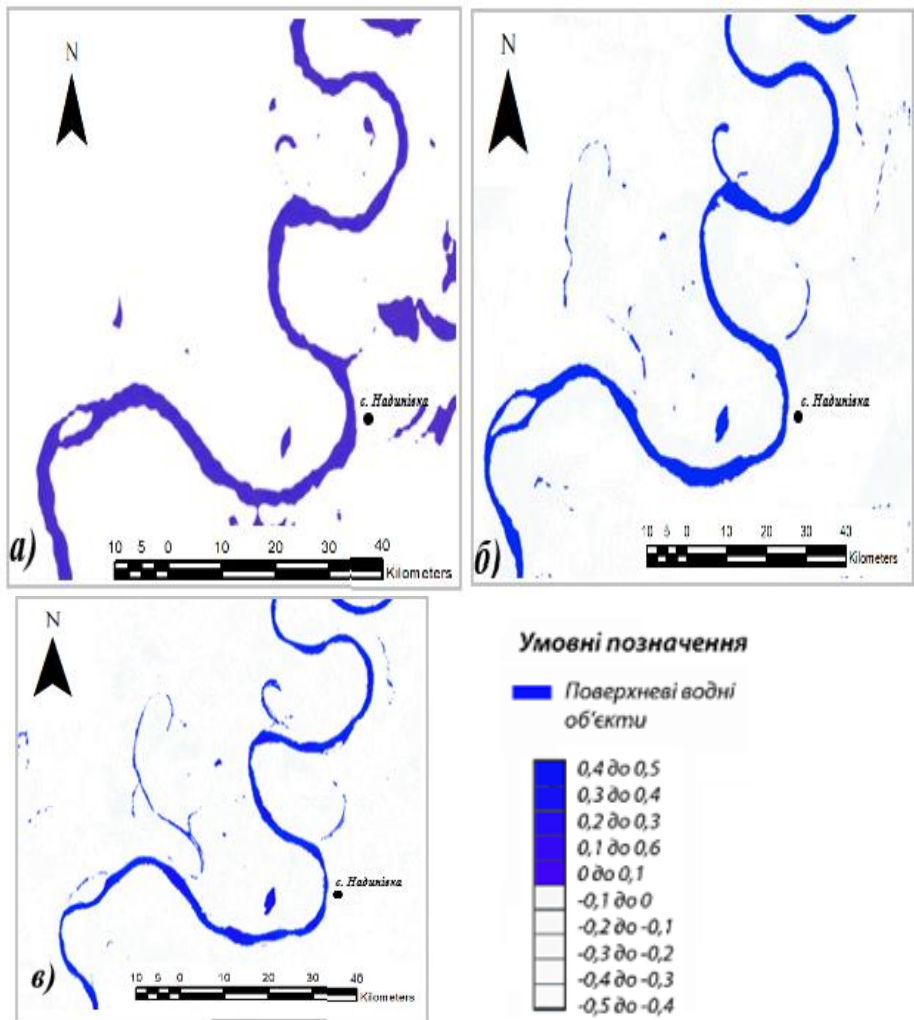


Рис. 3.6. Зображення руслових деформацій р. Десна біля с. Надівівка Чернігівської області, отримані із застосуванням спектрального індексу NDPI на фрагменті космічного знімку Landsat 4-8 за весняний період: а) 1986 р.; б) 1996 р.; в) 2020 р.

Аналізуючи дані руслових деформацій на р. Десна біля с. Змітнів із застосуванням спектрального індексу NDPI на фрагменті космічного знімку

Landsat 4-8 за весняний період 1990 р., 1998 р., та 2020 р. було встановлено, що на цій ділянці спостерігається активний процес меандрування р. Десна, що призводить до поступової зміни русла та створює потенційну загрозу для житлової забудови на південно-східній околиці населеного пункту.

Слід відзначити, що довжина найнебезпечнішої ділянки в межах с. Змітнів становить 0,53 км. В цьому місці Десна активно підмиває берег, що призводить до руйнування присадибних ділянок та створює безпосередню загрозу для житлової забудови населеного пункту, оскільки берегова лінія тут проходить на відстані 10–30 м. За останні 50 років внаслідок ерозійних процесів правий берег р. Десна змістився в напрямку с. Змітнів на 70–100 м. Це призвело до того, що відстань від русла до житлових будинків скоротилася до 20–25 м.

Також на ділянці біля с. Надинівка відзначаються значні руслові деформації р. Десна. На рис. 3.6 видно, що тут впродовж 1983–2020 рр. на р. Десна проходить процес розмиву берегів та акумуляції відкладів пов'язаних зі слабкою швидкістю течії на цій ділянці меандри річки.

Підсумовуючи вище сказане, можна стверджувати, що наслідком руслових деформацій р. Десна є процес розмиву берегів та акумуляції відкладів, особливо в періоди проходження весняної повені, які супроводжуються змивом біогенних елементів з прибережної території, деградацією ґрунтів, загрозою руйнування будівель та погіршенням умов проживання населення.

Також прояви руслової деформації характерні й для р. Сейм, яка є найбільшою притокою Десни. Руслові деформації призводять до підрізання схилів долини, що активізує руйнівні схилі процеси на р. Сейм (рис. 3.7).

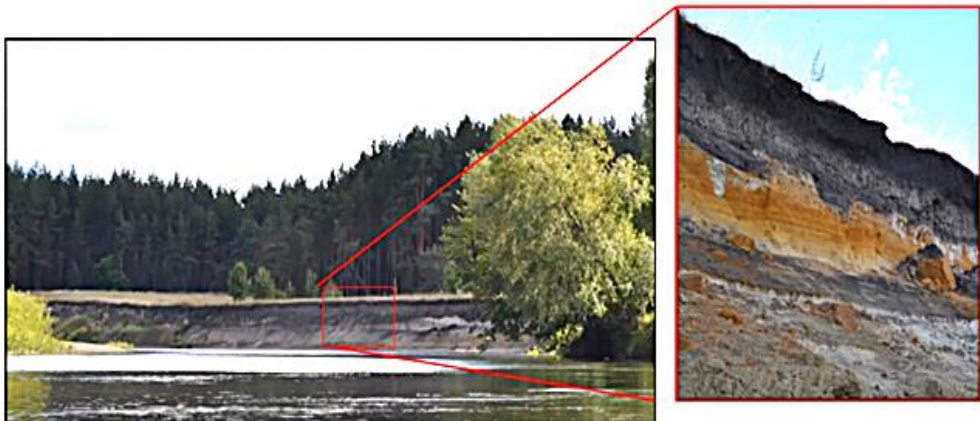


Рис. 3.7. Руйнування схилів долини р. Сейм – басейн Десни в Чернігівській області

Руйнування корінних схилів долин, терас можуть бути непрямыми доказами руслової активності. При підмиві річкою схилів формується

опуклий перегин профілю схилу, який сприяє виникненню зсувів (відрив і сповзання униз по схилу під дією сили тяжіння ділянок зазвичай пухких корінних порід), обвалів та посилення ерозії в межах басейну Десни (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Перелік зсувонебезпечних територій в басейні Десни в Чернігівській області (складено авторами за даними [15])

Місцезнаходження	Ураженість територій зсувами, км ²	Кількість зсувів, од.	Кількість населених пунктів у зонах зсувів, од.
м. Чернігів	1,3	8	1
м. Прилуки	0,3	2	1
Коропський район*	1,1	3	3
Новгород-Сіверський район	4,19	11	6
Прилуцький район	2,7	6	6
Ріпкинський район	0,98	3	-
Срібнянський район	4,7	9	9
Всього	15,27	42	26

Примітка. * - наведено назви районів до адмінреформи 2020 р.

Як видно з табл. 3.2, загальна площа зсувонебезпечних територій в басейні Десни в Чернігівській області складає 15,27 км². Найбільшими площами уражених зсувами спостерігається в таких районах як: колишній Срібнянський район (4,7 км²), Новгород-Сіверський район (4,19 км²) та Прилуцький район (2,7 км²). Крім того, що ці райони мають найбільшу площу ураження зсувами в цих районах зосереджена велика кількість населених пунктів, які знаходяться у зоні ризику та підлягають постійному моніторингу. Найменші площі, уражені зсувами, відзначаються в м. Чернігів (1,3 км²), колишньому Ріпкинському районі (0,98 км²) та м. Прилуки (0,3 км²).

Основні чинники виникнення зсувонебезпечних територій в басейні Десни в Чернігівській області є як природніми, так і техногенними. До природних чинників можна віднести той факт, що багато населених пунктів розташовані на понижених ділянках, іноді в заплавах річок. Також сюди відносяться й геоморфологічні та кліматичні умови, такі як підвищена кількість опадів серед регіонів України, водний режим річок, ерозія річкової долини тощо. До техногенних чинників варто віднести порушення умов стоку водотоків, незадовільний стан інженерних споруд, урбанізацію в басейні.

3.2. Затоплення та підтоплення територій

3.2.1. Затоплення території заплави Десни під час весняної повені.

Затоплення території – це покриття певної місцевості поверхневими водами, яке призводить до порушення господарської діяльності та умов проживання людей.

Оцінювання стану поверхневих вод під час весняної повені на основі аналізу багаторічних даних ДЗЗ та за допомогою засобів ГІС полягає у визначенні меж зон можливого затоплення, які можуть спричинити площинний змив забруднювальних речовин з прибережної території у водні об'єкти та призвести до погіршення умов проживання населення [19, 28, 118].

Весняна повінь на Десні в окремі роки може набувати катастрофічного характеру. Так, за останні 100 років максимальні за витратою повені спостерігалися 5 разів (1908, 1917, 1931, 1942, 1970 рр.) [15]. Такі повені різної забезпеченості призводять до розмиву берегів, затоплення значних площ земельних угідь, населених пунктів та завдають помітних збитків.

Було проаналізовано ряди космічних даних, які характеризують весняну повінь на Десні за багаторічний період (1988-2018 рр.). В результаті було отримано базу ретроспективних знімків вздовж долини Десни, на яких зафіксовані зони затоплення. Це дозволило створити інтегральну карту розвитку повені на Десні з позначенням затоплення території заплави в різні роки [110] – рис. 3.8.

Величина зон затоплення визначається з одного боку рівнем підняття води в річці, а з іншого – особливостями рельєфу місцевості та русла р. Десна. Значна частина берегів в долині р. Десна в Чернігівській області має достатньо велику висоту правої сторони берегу річки, яка не затоплювалася протягом періоду спостережень.

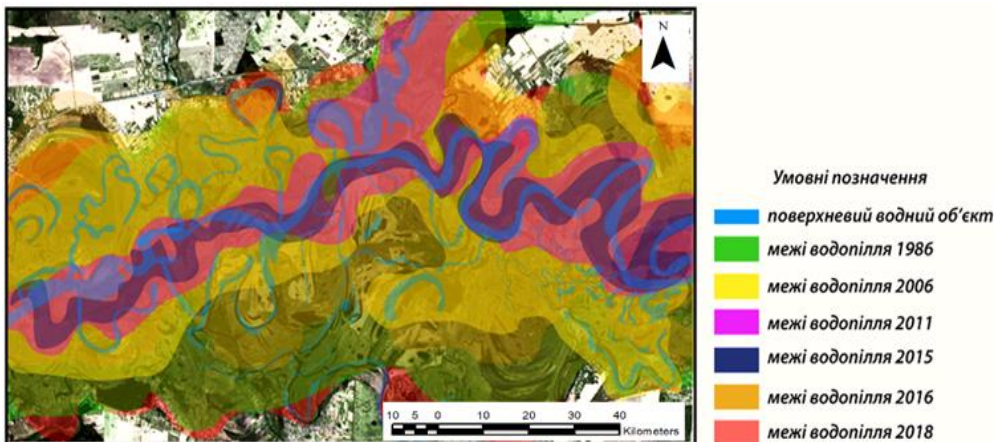


Рис. 3.8. Інтегральна карта розвитку повені на Десні в різні роки з позначенням затоплення території заплави (1986-2018 рр.) [110]

3.2.2. Підтоплення території. Підтоплення території – це процес підвищення рівня ґрунтових вод, спричинений природними або антропогенними чинниками.

В розділі 2 зазначалось, що для басейну Десни характерне слабе розчленування рельєфу, низькі фільтраційні властивості порід, неглибоке залягання рівнів ґрунтових вод, значна густина річкової мережі. Ці природні умови сприяють розвитку процесу підтоплення.

За даними моніторингу, в Чернігівській області у межах 17 населених пунктів підтоплення виникає за рахунок техногенних чинників, а в межах 19 населених пунктів спостерігається постійне підтоплення природного походження на площі 0,09 тис. км². А площа епізодичного природно-техногенного підтоплення в м. Новгород-Сіверський складала 0,021 тис. км² [15].

Крім цього, в басейні Десни лесові ґрунти широко використовуються у якості основи інженерних споруд. Але ці ґрунти мають здатність до просідання, що стало причиною руйнування споруд, підтоплення та заболочування прилеглих територій.

За багаторічними спостереженнями та моделюванням встановлено, що постійного або сезонного підтоплення природного та техногенного походження зазнають 46 сільських населених пунктів. Ділянки природного підтоплення земель в області розташовані в основному в межах заплави Десни (Новгород-Сіверський, колишні Коропський, Сосницький, Менський, Куликівський, Козелецький райони), заплави Сейму (колишні Бахмацький, Борзнянський райони), заплави Снову (колишні Сновський, Городнянський райони) та на територіях з природними пониженнями рельєфу (Ніжинський, Корюківський та колишні Носівський, Куликівський райони) [15].

Основними причинами техногенного підтоплення в населених пунктах в басейні Десни є: порушення умов стоку поверхневих вод різними видами будівництва; розвиток бічної ерозії русла та надзаплавної тераси, на якій здебільшого збудовані дороги, інженерні споруди, житлові будівлі; замулення русел річок.

В межах басейну Десни до об'єктів господарювання, які знаходяться в зоні можливого підтоплення, відносяться також очисні споруди, що належать до комунальних підприємств, котрі скидають стічні води у поверхневі водні об'єкти, що безпосередньо впливає на їхній стан.

3.3. Трофічний стан деяких водойм в басейні Десни

3.3.1. Загальні аспекти якості води. Для оцінювання впливу антропогенного навантаження на якість води Десни в межах Чернігівської області було виділено чотири ділянки: 1) р. Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів; 2) р. Десна від гідропоста Чернігів до адмінмежі Чернігівської та Київської областей; 3) р. Остер; 4) р. Снов.

На 1-й ділянці (р. Десна від гирла р. Сейм до гідропоста Чернігів) обсяг скиду стічних вод становить 2,02 млн м³.

На 2-й ділянці (р. Десна від гідропоста Чернігів до адмінмежі Чернігівської та Київської областей) наявна велика кількість водокористувачів, що пов'язано зі значним розвитком промисловості міст та скидами недостатньо очищених стічних вод з очисних споруд. Забір води на цій ділянці – 98,45 млн м³, а скид зворотних вод – 80,44 млн м³. Це пояснюється багаторазовим використанням води в системах оборотного водопостачання.

На 3-й ділянці (р. Остер) обсяг скиду стічних вод – 5,98 млн м³, тому значних змін в якості води не зафіксовано, перевищення норм ГДК для водойм рибогосподарського призначення траплялося за нітритами (NO₂⁻) – у 2,1- 2,6 рази та залізу загальному (Fe_{заг.}) – у 3,0-5,8 рази.

На 4-й ділянці (р. Снов) головними забруднювачами, якої є промислові та сільськогосподарські підприємства Брянської області РФ, обсяг стічних вод становить 13,22 млн м³.

Узагальнення даних Деснянського басейнового управління водних ресурсів (БУВР) показує, що в результаті скидів стічних вод в річкових водах фіксувалося перевищення ГДК для водойм рибогосподарського призначення по залізу загальному (Fe_{заг.}), амонію (NH₄⁺), нітритах (NO₂⁻), вмісту органічних речовин за ХСК та БСК₅, що призводить до зменшення вмісту кисню у річковій воді. Підвищений вміст Fe_{заг.} пояснюється переважно природними факторами і зазнає сезонних коливань, які характерні для річок і озер території Полісся. Перевищення по вмісту NO₂⁻, значенням ХСК та БСК₅, (періодично) зумовлені антропогенним навантаженням. Сезонні та міжрічні коливання гідрохімічних показників залежать від гідрологічного режиму як внутрішньорічного, так і багаторічного, значним зменшенням водності річок протягом останніх років, пов'язаного зі зміною клімату [13].

Актуальним є питання ефективності роботи очисних споруд каналізації, які допускають скиди забруднених стічних вод [64].

3.3.2. Трофічний стан деяких водойм. Для оцінки трофічного стану було обрано 20 водойм в межах басейну Десни в Чернігівській області, характеристики яких наведено в табл. 3.3.

Результати оцінки трофічного стану водойм були розраховані як середнє арифметичне з трьох індексів: трофічного стану хлорофілу-А – TSI (Chl), трофічного стану сполуки фосфору – TSI (TP), трофічного стану прозорості – TSI (SDD).

Через відсутність даних середньорічної кількості хлорофілу-А у воді в поверхневих водних об'єктах в межах басейну Десни в Чернігівській області було використанні дані із супутникових знімків Landsat 7 за період 2012–2018 рр.

Статистичний аналіз оцінки трофічного стану водойм за період 2012–2018 рр. при $n=3$ показав, що між середніми значеннями трофічного стану водойм немає значимої різниці, оскільки $x_{cp}= 50,5$; $\sigma_{\phi}=$; $F_{\phi}= 0,33$; $Ft_{05}= 19,41$, то $F_{\phi} \leq Ft_{05}$. Це свідчить про те, що формули наведені в розд. 1 можуть бути використані для розрахунку трофічного стану водойм басейну Десни в Чернігівській області за період 2012–2018 рр.

Таблиця 3.3. Оцінка трофічного стану водойм басейну Десни в Чернігівській області за 2012–2018 рр.

Назва водойми або місцевості	Показники	Роки		
		2012	2014	2018
1	2	3	4	5
водойма б/н* м. Батурин	TSI	52,31	48,20	44,83
	Трофічний стан	евтотрофний	мезотрофний	мезотрофний
Гудевичів с. Митченки	TSI	48,79	48,63	50,36
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
Бабенський с. Митченки	TSI	48,79	47,80	47,68
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	мезотрофний
Ворошиловський с. Красне	TSI	52,11	48,63	54,53
	Трофічний стан	евтотрофний	мезотрофний	евтотрофний
Лимань с. Красне	TSI	49,62	49,46	52,22
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
Оз. Сільське смт. Куликівка	TSI	52,37	49,84	54,99
	Трофічний стан	евтотрофний	мезотрофний	евтотрофний
водойма б/н с. Улянівка	TSI	54,91	55,78	59,74
	Трофічний стан	евтотрофний	евтотрофний	евтотрофний
водойма б/н с. Хмільниця	TSI	56,57	56,61	58,91
	Трофічний стан	евтотрофний	евтотрофний	евтотрофний
ставок на р. Стрижень м. Чернігів	TSI	48,12	47,88	52,23
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
водойма №3 на р. Стрижень м. Чернігів	TSI	49,78	48,71	51,81
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
Мринка с. Мрин	TSI	48,55	47,19	51,97
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
Карпилівка с. Мрин	TSI	47,72	46,36	51,00
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5
Торфовище с. Мрин	TSI	49,38	46,36	52,96
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
Центральне с. Плоске	TSI	48,55	48,02	52,96
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
Козловий с. Плоске	TSI	49,38	48,02	52,13
	Трофічний стан	мезотрофний	мезотрофний	евтотрофний
водойма б/н сmt. Седнів	TSI	50	54,39	42,91
	Трофічний стан	евтотрофний	евтотрофний	мезотрофний
водойма б/н с. Гірськ	TSI	51,52	51,21	53,29
	Трофічний стан	евтотрофний	евтотрофний	евтотрофний
водойма б/н с. Тихоновичі	TSI	53,55	55,22	41,20
	Трофічний стан	евтотрофний	евтотрофний	мезотрофний
ставок р. Ревна с. Леонівка	TSI	52,34	52,41	41,91
	Трофічний стан	евтотрофний	евтотрофний	мезотрофний
водойма б/н с. Смяч	TSI	53,55	54,39	42,55
	Трофічний стан	евтотрофний	евтотрофний	мезотрофний

Примітка: - водойма б/н* - водойма, що не має назви.

Оцінювання рівня трофічного стану водойм в межах басейну Десни в Чернігівській області за період 2012–2018 рр. показало, що з 20 досліджуваних водойм – 8 змінили свій стан трофності протягом 2012–2018 рр. – з мезотрофного стану на евтотрофний.

Згідно, шкали Р. Карлсона, 3-и водойми, які розміщені в басейнах р. Снов (водойма без назви в с. Гірськ) та р. Білоус (водойма без назви в с. Улянівка та водойма без назви в с. Хмільниця) мають евтотрофний стан. Це пов'язано з тим, що робота комплексів очисних споруд мала вплив на якість води р. Снов (с. Гірськ) та р. Білоус (м. Чернігів). Тому в створі нижче скиду очищених стічних вод з очисних споруд каналізації відзначалося перевищення ГДК по амонію (NH_4^+), нітритах (NO_2^-), фосфатах (PO_4^{3-}).

Лише одна водойма (ставок Бабенський у с. Митченки), який розміщений в басейні р. Сейм, має незмінний мезотрофний стан протягом досліджуваного періоду (2012–2018 рр.). Це означає, що водойма мала помірний рівень біологічної продуктивності та мала стабільний екологічний стан протягом досліджуваного періоду (2012–2018 рр.).

В цей же період (2012–2018 рр.) 4-и водойми (водойма без назви, м. Батурин; водойма без назви у селищі Седнів; ставок на р. Ревна у с. Леонівка; водойма без назви у с. Смяч) змінили рівень трофічного стану з

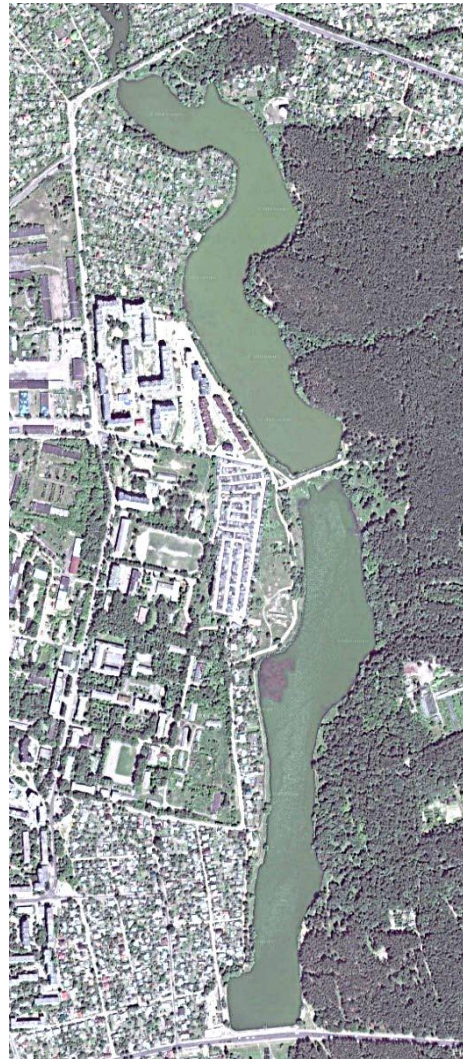
евтотрофного на мезотрофний. Це вказує на тимчасове покращення якості води.

3.4. «Цвітіння води» та обміління у водоймах на урбанізованій території

Оцінювання «цвітіння води» у водоймах було виконано на прикладі ставків № 2 та № 3 на р. Стрижень, які знаходяться в межах урбанізованої території Чернігова по вул. Героїв Чорнобиля та вул. Стрілецька (рис. 3.9).



а)



б)

Рис. 3.9. Ставки № 2 і № 3 на р. Стрижень в Чернігові: а) фрагмент топографічної карти; б) фрагмент супутникового знімку Landsat 8 станом на 03.04.2020 р.

Річка Стрижень є правою притокою Десни, в яку впадає в Чернігові, де знаходиться в межах регіонального ландшафтного парку «Ялівщина». Бере свій початок біля с. Великі Осняки Чернігівського району Чернігівської області. Довжина річки складає 32,4 км, площа водозбору 158 км².

Русло р. Стрижень в межах Чернігова проходить під лівим корінним схилом. Лівий берег високий, обривистий, складений глибокими V-подібними ярами. По обох берегах річки поширені яри, що відзначаються переважно на ділянках, складених лесованими та озерно-льодовиковими відкладами. Крутизна схилів ярів сягає 15–25°. Їх протяжність досягає до 4 км. Правий схил долини більш пологий, в основному забудований. Починаючи з 1960-х років поступово водний стік р. Стрижень було зарегульовано каскадом із 5 ставків [45].

Основні характеристики ставків № 2 та № 3 на р. Стрижень наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Основні морфометричні характеристики ставків № 2 та № 3 на р. Стрижень в Чернігові (складено авторами за даними [45])

Найменування показників	Одиниця виміру	Ставки	
		№ 2	№ 3
Площа водозбору	км ²	145	137
Площа дзеркала	га	17,83	17,40
Об'єм води	тис.м ³	300	304,2
Максимальна глибина	м	3,0	2,95
Середня глибина	м	1,69	1,71
Довжина по фарватеру	м	1308	1300
Середня ширина	м	141	148
Максимальна ширина	м	196	194
Довжина берегової лінії	м	2974	2993

В результаті застосування індексу SABI (Surface Algal Bloom Index – індекс цвітіння поверхневих водоростей) було отримано супутникові знімки за 1990–2020 рр. з інтервалом 10 років з просторовим розподілом біомаси водоростей, які свідчать про процес евтрофікації ставків (№ 2 та № 3) та погіршення в цілому стану річки Стрижень в межах м. Чернігів (рис. 3.10).

Спектральний індекс SABI здатний виявляти біомасу водоростей, які плавають біля або на поверхні води у вигляді щільних ниток або плям. Як видно з рис. 3.10, наявність біомаси водоростей протягом 1990–2020 рр. проявляється на супутникових знімках в літній період, в той час як на весняних знімках біомаса водоростей – відсутня.

Аналізуючи наявність біомаси водоростей в літній період, також варто звернути увагу на початок літа і його кінець.

Так, отримані дані показують, що на супутникових знімках літнього періоду 1990 р. в червні суходіл займає 8 % від загальної площі ставків,

біомаса водоростей на або біля поверхні води – 23 %, поверхня води – 69 %. Натомість в серпні цього ж року суходіл займає 8 % від загальної площі ставків, площа біомаси водоростей на або біля поверхні води зросла до 38 %, площа поверхні води знизилася до 54 %.

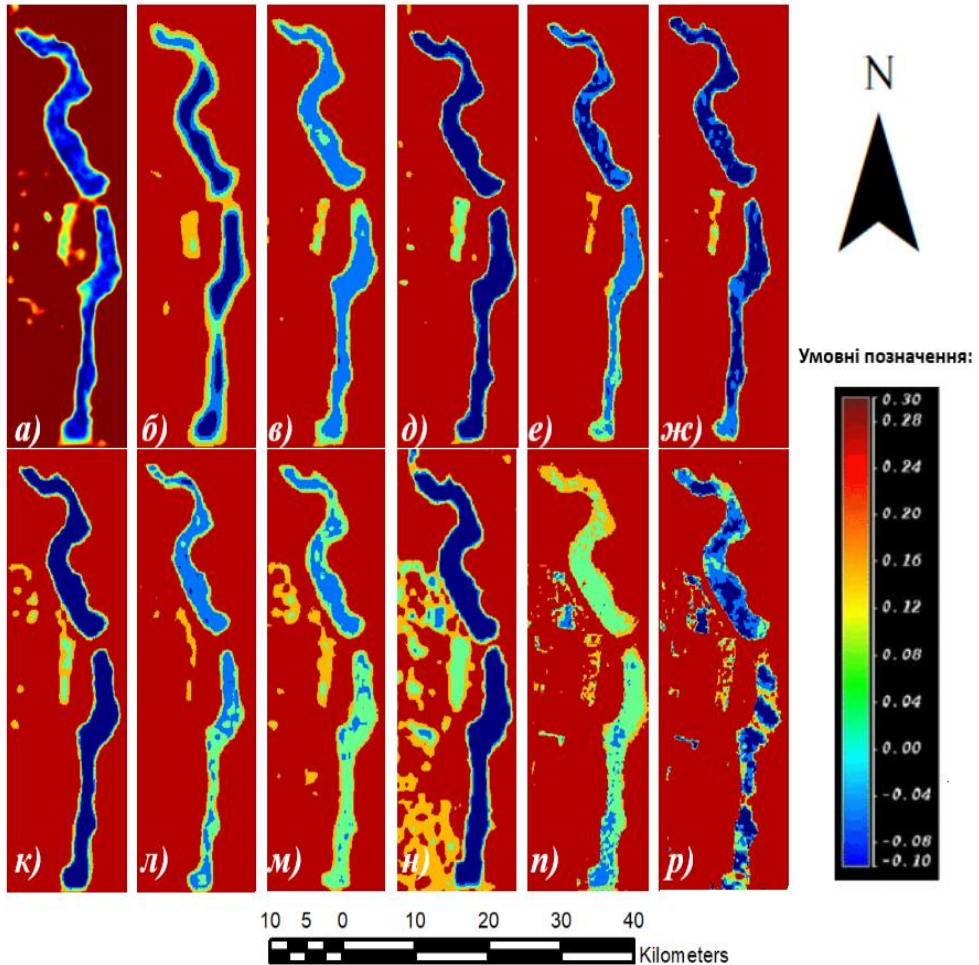


Рис. 3.10. Просторовий розподіл біомаси водоростей у ставках № 2 та № 3 на р. Стрижень в Чернігові з використанням індексу SAVI на фрагментах супутникових знімків Landsat 5,7,8 за 1990-2020 рр.: а) 03.04.1990; б) 11.06.1990; в) 23.08.1990; д) 10.04.2000; е) 20.06.2000; ж) 20.08.2000; к) 08.04.2010; л) 10.06.2010; м) 14.08.2010; н) 03.04.2020; п) 11.06.2020; р) 23.08.2020

У 2000 р. в літній період у червні суходіл вже займав 6 % від загальної площі ставків, біомаса водоростей на або біля поверхні води – 27 %, поверхня води – 67 %. У серпні цього року суходіл становив 9 % від загальної площі ставків, біомаса водоростей на або біля поверхні води – 24 %, поверхня води – 67 % (табл. 3.5).

У 2010 р. на супутниковому знімку прослідковується, те що в літній період в червні суходіл становив 14 % від загальної площі ставків, біомаса водоростей на або біля поверхні води – 47 %, поверхня води – 39 %. В серпні цього ж року площа суходолу збільшилася до 17 %, біомаса водоростей на або біля поверхні води – 47 %, площа поверхні води знизилася до 36 %.

У 2020 р. в літній період в червні площа суходолу становила 8 % від загальної площі ставків, біомаса водоростей на або біля поверхні води – 37 %, поверхня води – 55 %. Тоді як в серпні цього року суходіл займав 11 % від загальної площі ставків, біомаса водоростей на або біля поверхні води збільшилася до 39 %, площа поверхні води знизилася до 50 %.

Динаміка змін площі часток середовища (водна поверхня, біомаса та суходіл) з урахуванням сезонної різниці (червень–серпень) та відносної різниці щодо загальної площі ставків № 2 та № 3 на р. Стрижень в Чернігові за 1990–2020 рр., які були отримані з фрагментів супутникових знімків Landsat 5,7,8 представлено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Зміна площі середовищ протягом літа (червень–серпень) у ставках № 2 та № 3 на р. Стрижень в Чернігові на фрагментах супутникових знімків Landsat 5,7,8 за 1990-2020 рр., %

Назва середовища	1990	2000	2010	2020
Водна поверхня	-15*	0	-3	-5
Біомаса	+15**	-3	0	+2
Суходіл	0***	+3	+3	+3

Примітка. -15* – відбулося зменшення на 15 % у серпні порівняно з червнем; +15** – відбулося збільшення на 15 %; 0*** – без змін.

Площа водної поверхні демонструє тенденцію до скорочення, лише у 2000 р. зафіксовано відсутність змін протягом літа (червень–серпень) й її загальна площа становила 23,61 га (0%) (див. табл. 3.5). Щодо площі біомаси, то найбільший її приріст відбувся в 1990 р., з 8,10 га до 13,39 га (+15%), а в подальшому зміни були менш вираженими та переважно стабільними з помірним приростом. Натомість, площа суходолу стабільно зростає з 2000 р. (+3%), що може спричинити заростання акваторії ставків № 2 та № 3 на р. Стрижень в Чернігові.

Отже, аналізуючи динаміку змін площі часток середовища протягом літа (червень–серпень) за 1990–2020 рр. встановили тенденцію щодо скорочення водної поверхні та збільшення біомаси та суходолу у ставках № 2 та № 3 на р. Стрижень в Чернігові. Такі зміни пояснюються тим, що під кінець літа збільшується кількість біомаси водоростей, що сприяє значному погіршенню стану ставків № 2 та № 3 на р. Стрижень в Чернігові.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ШАЦЬКОГО ПООЗЕР'Я

4.1. Геолого-геоморфологічні умови

Шацьке поозер'я знаходиться в басейні Західного Бугу. Озера на цій території мають карстове походження і є унікальним природним комплексом Волинського Полісся України. В адміністративному відношенні ця територія знаходиться на північному заході Волинської області в Ковельському районі (до адмінреформи 2020 р. – Шацький район).

У геологічній будові території виділяються два структурні поверхи: нижній, сформований дислокованими протерозойськими породами, і верхній, утворений моноклінально залягаючими верствами палеозою та горизонтально залягаючими утвореннями мезозою та кайнозою [23].

Територія Шацького поозер'я розташована у межах Волино-Подільської плити Східноєвропейської платформи. На південно-західну частину території Волинської області заходить Львівський палеозойський прогин, відклади якого залягають на вендських утвореннях протерозою. Кристалічний фундамент сформований гранітами, мігматитами, гнейсами, базальтами, туфами, пісковиками тощо. Він похилений із сходу на захід, тому глибина його залягання коливається від сотень метрів до 2–3 км на заході області.

Глибина залягання кристалічного фундаменту в зоні Львівського палеозойського прогину сягає до 5 км. Утворення фундаменту із кутовим і стратиграфічним неузгодженням перекриваються відкладами палеозою, які поширюються на захід від лінії Ратне – Камінь-Каширський – Маневичі. На домезозойській поверхні закарстовані відклади кембрійської, ордовіцької, силурійської, девонської, кам'яновугільної систем. Вони сформовані осадовими уламковими та карбонатними породами й відзначаються моноклінальним заляганням із похилом зі сходу на захід [23].

Найпотужнішими є товщі силурійської, девонської та кам'яновугільної систем – приблизно 1000, 2000 і 1300–1400 м відповідно. Відклади кам'яновугільної системи у Львівському палеозойському прогині вугленосні. Серед мезозойських відкладів наявні тільки утворення верхньої крейди, що із значним стратиграфічним і кутовим неузгодженням перекривають кристалічний фундамент на північний схід від лінії Ратне – Камінь-Каширський – Маневичі, а на південний захід від згаданої лінії вони залягають на породах палеозойського віку. Крейдяні відклади сформовані утвореннями туронського, коньякського, сантонського, кампанського та маастріхтського ярусів [23].

Крейдяна товща сформована крейдою писальною та мергелем, її потужність коливається від 25 до 400 м. Відклади тріасу і юри на території області відсутні.

Четвертинні відклади суцільним плащем покривають крейдяні та неогенові утворення на всій території області. Ці відклади пов'язані насамперед із четвертинним зледенінням, а після його відступу – з геологічною діяльністю річок, озер та боліт [23].

Північна поліська частина області відзначається строкатою палітрою гляціальних, флювіогляціальних, флювіально-озерних та болотних (біогенних) відкладів. Еоплейстоценові й плейстоценові відклади сформовані невідсортованими моренними, алювіальними й озерно-алювіальними піщаними й супіщаними відкладами льодовикової формації, де трапляються також суглинки та болотні утворення [23].

Поширений також річковий алювій, відклади перших надзаплавних терас та еолово-делювіальні утворення. Перевіяні піски – дюни – тяжіють до терас річок Західний Буг та Прип'ять, зандрових рівнин, вододільних частин моренних піднять. Сучасні відклади сформовані алювіальними утвореннями заплав і русел річок, стариць, озер та боліт [23].

Озерні відклади сформовані дрібнозернистими та замуленими пісками, подекуди із значною кількістю рослинних решток. Здебільшого вони покриваються болотними утвореннями. Більшість озер відзначається значною кількістю відкладів сапропелю [23].

Морфоскульптура Шацької вододільної рівнини має панівне підвищене положення на території поозер'я. Тут є максимальні висоти (160 м і більше) верхньокрейдяного рельєфу і малопотужний четвертинний покрив. Саме такі геологічні умови сприяли інтенсивному розвитку карстових процесів у крейдянному масиві та утворенню каскаду озер [68].

Якщо порівняти положення верхньокрейдяної поверхні (160 м) та врізи найбільших озер: Світязь – 163,2; Пулемецьке – 162,0; Луки – 162,0; Люцимир – 165 м, то можна констатувати, що всі озера закладені у крейдянному масиві, живляться напірними водами верхньокрейдяного водоносного комплексу, а також водами палеозою, які мають доплив по розломних зонах [68].

Територія поозер'я згідно геоморфологічного районування відноситься до геоморфологічної області Волинської акумулятивної рівнини, Шацького водороздільного горбистокарстово-озерного геоморфологічного району. Це унікальне природне утворення з неповторними озерно-лісовими ландшафтами. Тут найбільша концентрація озер серед усіх регіонів Європи. Поширені вони на правій терасі р. Західний Буг, є також ками, ози та кінцева морена дніпровського зледеніння, поширені болота. В цілому, район рівнинний з окремими горбами, тут пролягає вододіл басейнів Балтійського і Чорного морів [23].

На фоні окремих підвищень виділяється велика кількість карстових западин з озерами (Світязь, Пулемецьке, Луки та ін.), є також акумулятивно-льодовикові форми у вигляді кінцевих морен та озів поблизу сіл Піща, Лука, Пульмо, Світязь. Характерна особливість території – близьке залягання до поверхні крейдяно-мергельних порід, особливо по берегах карстових озер і вершинах горбів і гряд [26, 46].

У формуванні берегів діють такі головні динамічні чинники, як абразія (руйнування припіднятого узбережжя хвильовою діяльністю і рухом льодового покриву під час його скресання) та акумуляція теригенного й органічного матеріалу. Озерам Шацької групи властиве переважання акумулятивних процесів. Схили улоговин низькі, похилі (2–6°). З урахуванням переважного процесу нагромадження та характеру відкладів, форми та висоти берегового схилу виділяють акумулятивно-абразійні та акумулятивні (теригенні і біогенні) типи берегів [26].

Акумулятивно-абразійні береги формуються на озерах, які займають вищий гіпсометричний рівень. Похилі схили берегової ділянки сприяють утворенню низького кліфу, що тягнеться фрагментами у вигляді слабо виражених уступів здовж озерних улоговин. Берегові уступи тут хоч і невисокі, але круті. Наприклад, висота берегового уступу на озері Пісочному становить 0,5–0,8 м, а на озері Світязь – 0,7–1,5 м. Їхня крутість коливається від 33 до 47° [26].

У межах намивної частини узбережжя утворюються пляжі, берегові вали. Акумулятивні піщані і піщано-галечникові береги формуються в разі переважання теригенної акумуляції. Для таких берегів характерна широка прибережна смуга, в зоні якої утворюються пляжі. У намивній частині берегової обмілини формуються невисокі (до 0,3 м) підводні піщані вали. Торфові та сплавинні береги утворюються у випадку переважання біогенної акумуляції. Залежно від висоти над урізом води та характеру відкладів торфові береги поділяють на такі підтипи: торфово-піщані, торфові високі, торфові низькі. Узбережжя в таких озерах заболочене, літоральна частина замулена [26].

Для торфово-піщаних та торфових високих берегів характерна зона сухого узбережжя з невисокими (до 0,5 м) береговими валами. Сплавинні береги властиві поліським озерам-розливам. Вони формуються за умов переважання біогенної акумуляції біля урізу води, коли сплавини покривають і мілководну зону озера. Берегова лінія у таких озерах нечітка. Для озер площею понад 1 км² здебільшого характерна широка (понад 100 м) берегова обмілина з глибинами до 1 м [26].

Узбережжя таких озер ускладнені пляжами, прибережними і підводними валами та косами. Пляжі формуються в зоні підвищеного намивного узбережжя за наявності достатньої кількості піщаного матеріалу. Переважають піщані пляжі незначної ширини (10–150 м) і висоти над урізом

води 0,3–1,5 м. Прибережні вали формуються внаслідок абразійно-аккумулятивних процесів у затоплюваній частині узбережжя [26].

Е. Рюле виділяє три типи прибережних валів: 1) денудаційно-аккумулятивний, сформований діяльністю хвиль і вітру в зоні сучасної берегової лінії та давніший у зоні кліфу; 2) вал озерно-еолової акумуляції; 3) вал, утворений витискуванням льоду в результаті весняного скресання. Внаслідок нерівномірної акумуляції та значного розчленування берегової лінії озерні вали мають невелику довжину (150–350 м), ширину (5–30 м) і висоту (0,20–0,75 м) [26].

Абразійні та аккумулятивні процеси літоральної частини озерної улоговини формують профіль рівноваги, для якого характерна стабілізація обрисів берегової лінії та переважаання аккумулятивних форм рельєфу. У рельєфі озерної улоговини літоральну область визначають різними перегинами профілю рівноваги [26].

Морфологічний тип літоралі має такі показники, як довжина профілю, глибина, кут похилу та рельєф дна. В межах озерних улоговин поозер'я виділяють такі типи літоралі: 1) абразійний (довжиною до 100 м і крутизною понад 5°, профіль не ускладнений формами рельєфу дна); 2) аккумулятивно-абразійний (довжиною понад 100 м, крутизною до 5°, профіль не ускладнений формами рельєфу дна); 3) аккумулятивний - ускладнений формами рельєфу дна (косами, підводними валами, западинами); 4) аккумулятивно-затоківий характерний для заток великих озер [26].

4.2. Рельєф, ґрунти

4.2.1. Рельєф. За морфологією рельєфу територія Шацького поозер'я – це слабохвиляста рівнина. Максимальна абсолютна відмітка – 214 м у районі с. Головне, мінімальна – 153 м у долині р. Прип'ять [68].

Рівнинний рельєф території робіт ускладнений долинами рік Прип'ять, Західний Буг і їхніми притоками, моренними горбами, численними еоловими формами, болотними масивами та озерними улоговинами. Значна частина території належить до підобласті Верхньоприп'ятської терасової заболоченої рівнини, яка займає знижену частину Прип'ятської низовини з витоками р. Прип'ять. Річка Прип'ять бере початок у районі с. Столинські Смолярі. Верхів'я річки дуже заболочене [24, 68].

У рельєфі північно-західної частини Волинського Полісся переважають плоскі та слабо хвилясті низовини й горбисті підвищення, поверхня яких розчленована великою кількістю озер різного розміру та генезису. Вирівняність рельєфу зумовлена особливостями нагромадження антропогенових (четвертинних) відкладів, їхніми генетичними типами та потужністю, а також геологічними особливостями будови і рельєфом ложа. Абсолютні висоти коливаються у межах 160,7–182,6 м (рис. 4.1).

В межах Шацького поозер'я перепад висот кривлі верхньокрейдових відкладів коливається від менше 80 до понад 170 м, тобто сягає майже 90 м. Найнижчі відмітки території є в заплавах річок (р. Копаївка – 160,7 м) та басейнах озер (оз. Мошне – 161,4 м). Максимальні висоти приурочені до озово-камових пасом (182,6 м) та еолових горбів (175,0–177,5 м). Переважна частина території має абсолютні висоти 163–166 м. Середня висота рельєфу території становить 164,6 м. Глибина вертикального розчленування рельєфу визначена його генезисом [68].

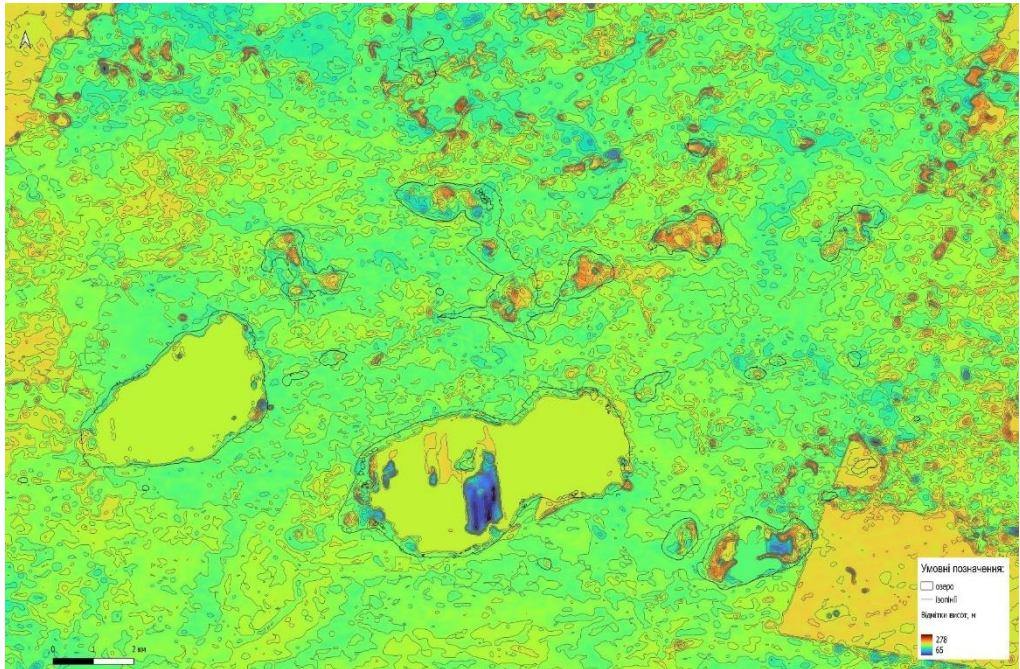


Рис. 4.1. Рельєф території Шацького поозер'я, SRTM 30

Головні нерівності сформувалися внаслідок різного нагромадження льодовикових відкладів. Найменші відносні перевищення 0,3–0,6 м/км² зареєстровані на озерно-алювіальній та зандровій низовинах, максимальні (понад 10 м/км²) простежені на ділянках, зайнятих озово-камовими пасмами та еоловими горбами. Середні відносні перевищення становлять 3,3–5,0 м/км². Унаслідок переважання плоского рельєфу головний Європейський вододіл тут не має чітких контурів. Він проходить від Забужжя на Смолярі-Світязькі – Шацьк – Гуту [68].

Густота розчленування рельєфу становить 0,1–0,4 км/км², хоча на окремих ділянках збільшується до 1,1 км/км². Головний напрямок річкової мережі північно-західний та північно-східний. У північно-східному напрямку орієнтована більшість озерних улоговин. На розміщення гідромережі

впливає тектонічна тріщинуватість. Безпосередню участь у формуванні рельєфу беруть верхньокрейдяні відклади сантонського і маастрихтського ярусів, які поширені тут повсюди й утворюють велику монокліналь, ускладнену ерозійними зниженнями і пасмами. Центральна частина території розміщена на верхньокрейдяному піднятті [68].

На південний захід від Верхньоприп'ятської рівнини розташована Волинська моренно-горбиста височина, для якої характерне поєднання пасмово-горбистих форм водно-льодовикового і моренного рельєфу з виположеними денудаційними. Значного поширення тут набули карстові лійки, до яких приурочені озера і болота. Крайню західну частину території займає долина Західного Бугу. Ширина заплави змінюється від 0,1 до 3,0 км [68]. Територія Шацького поозер'я має незначний похил на північ і північний захід. Алювіальний рельєф території плоский за кутів нахилу $0^{\circ}30' - 3^{\circ}$, для водно-льодовикового він становить $1 - 5^{\circ}$, а для моренного – $3 - 7^{\circ}$. Для еолових форм кут нахилу поверхні зростає до 10° і більше. На Шацькому поозер'ї поєднані реліктові льодовикові й водно-льодовикові типи рельєфу з карстовими, еоловими, ерозійними та антропогенними. Окремо виділяється озерний тип рельєфу, утворений карстово-льодовиково-аккумулятивними типами озерних улоговин [22].

Серед форм мікрорельєфу виділяються: вал, витягнутий між озерами Пулемецьке та Климівське шириною 20–100 м, сформований середньозернистим піском; озероподібні пониження між озерами Чорне і Луки, виповнені торфом, ймовірно, це палеозера; підвищення між озерами Чорне і Острів'янське, що піднімається над місцевістю на 5–6 м; пониження між озерами Луки і Світязь; валоподібне підняття з блюдцями і западинами в с. Піща [68].

4.2.2. Ґрунти. Особливості геологічної будови зумовлюють типи ґрунтів, що поширені на цій території. Склад ґрунтотворних порід доволі різноманітний і представлений комплексом еолових, алювіальних, водно-льодовикових, моренних відкладів переважно піщаного, супіщаного і легкосуглинистого механічного складу [68].

На території Шацького поозер'я зафіксовано такі типи ґрунтів: торф'яно-болотні ґрунти і торфовища низинні; дерново-середньопідзолисті піщані, супіщані ґрунти на воднольодовикових відкладах; лучні ґрунти на алювіальних відкладах (рис. 4.2).

На північному заході території, а також у долинах річок через високе залягання ґрунтових вод формуються органогенні породи (торф). Загальними ознаками цих материнських порід ґрунтів є відсутність водорозчинних солей, незначна водозатримувальна здатність, низька ємність катіонного обміну, що створює сприятливі умови для формування ґрунтів підзолистого типу [68].



Рис. 4.2. Типи ґрунтів на території Шацького поозер'я

Дерново-середньопідзолисті піщані, супіщані ґрунти на водно-льодовикових відкладах поширені на півночі від сіл Красний Бір і Перешпа. Ці ґрунти простягаються на схід від озер Острів'янське та Люцимир, а також на південь і південний схід від населеного пункту Хомичі. Вони мають гумусно-елювіальний горизонт потужністю до 20 см. Нижче залягає світлий, жовтувато-сірий пісок, розсипчастий, безструктурний, потужністю до 25–30 см. Ілювіальний горизонт потужністю до 50–60 см складений сірим, сірувато-жовтим або жовтим піском, іноді з плямами залізнення [51].

Для цих ґрунтів характерні висока водопроникність і мала вологоємність. Навіть після тривалої зливи у верхніх шарах ґрунту вологи буває менше 7–8 %. Вода швидко просочується в глибинні шари, виносячи з собою розчинені поживні для рослин речовини. Ґрунт швидко висихає до стану критичної вологи, яка в них становить менше 1 %.

Дерново-середньопідзолисті супіщані й суглинкові ґрунти розміщені між озерами Пулемецьке та Світязь. Водний режим цих ґрунтів стійкіший, ніж попередніх. Ґрунти цієї групи мають зазвичай кислу реакцію розчину. Середній вміст гумусу в них не перевищує 1,3 % [51].

На півночі Шацького поозер'я, на схід від Піщанських озер простягаються дерновопідзолисті глеюваті супіщані та легкосуглинкові ґрунти. Доволі велика їх площа зафіксована у вигляді значної смуги з роздувами між Шацьком на півдні та дещо північніше озера Пісочне, а також на південь від с. Хрипськ та на північний схід від с. Піща. Ці ґрунти простягаються широкою смугою і на схід від с. Мельники [51].

На захід від озера Пулемецьке набули незначного поширення дерново-підзолисті глеюваті піщані й суглинкові ґрунти.

Лучні опідзолені та лучні опідзолені оглеєні ґрунти розміщені на заході Шацького поозер'я і прилягають до р. Західний Буг і на півночі від озера Світязь, утворюючи невелике поле дещо південніше с. Вільшанка на півночі та с. Адамчуки на півдні. Ці ґрунти гумусовані на глибину 50–70 см. Крім того, до цих ґрунтів входять лучні карбонатні та лучні глейові ґрунти супіщаного та легкосуглинкового гранулометричного складу [51].

Болотяні ґрунти охоплюють значну площу на південь від озера Перемут. Болотяним ґрунтам притаманна відсутність суцільного шару торфу. Болотяні ґрунти мають великий запас поживних речовин та гумусу (від 5,5 до 18 %). Реакція ґрунтового розчину слабкокисла або близька до нейтральної (рН = 5,5–6,6). Ці ґрунти багаті на поживні елементи, проте внаслідок перезволоження і наявності великої кількості закисних сполук мають низьку родючість [51].

Торфово-болотяні ґрунти простежуються на півночі Шацького поозер'я, де вузькими смугами охоплюють дерново-приховано-підзолисті й слабкопідзолисті піщані і глинистопіщані, а також дерново-слабко- і середньопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти. Невеликі поля трапляються на північ від с. Пулемець та на південь від с. Затишшя. Вузькі смуги цього ґрунту простежуються між озерами Пулемецьке та Світязь і на південь від сіл Світязь й Підманове та на захід від с. Хомичі, а також на схід від с. Хрипськ та на північний захід від с. Ростань і оточують озера Чорне і Климівське. Торфово-болотяні ґрунти відзначаються потужністю гумусового горизонту до 30-50 см [51].

Торфові ґрунти на голоценових низинних торфовищах тягнуться значними смугами вздовж річки Прип'яті, охоплюють з півдня озеро Світязь, з півночі – озеро Пулемецьке, а із заходу – озеро Луки до с. Хрипськ. Родючість цих ґрунтів відзначається значним коливанням і порівняно з іншими важче регулюється, що пояснюється високою органогенністю торфу. Цьому сприяє також близьке залягання підґрунтових вод, які,

перезволожуючи орний шар, охолоджують ґрунт, вимивають накопичені в орному шарі поживні речовини [51].

Дерново-супіщані і суглинкові ґрунти розповсюджені навкруги с. Пехи та на захід від с. Кропивники, а дернові оглеєні супіщані й суглинкові ґрунти – на північ від с. Кропивники біля урочища Князь Багно [51].

Антропогенні гумусовані оглеєні ґрунти із вмістом органічної речовини 20,0-10,0 % розміщені по межі осушених земель і сформувались на спрацьованих торфовоболотяних ґрунтах і мілких торфовищах після поступового зникнення оторфованості та переходу їх у дерново-підзолисті і дернові ґрунти. Вони простежується невеликими площами на схід від с. Адамчуки [51].

Антропогенні оторфовані оглеєні із вмістом органічної речовини 45,0–15,0 % ґрунти мають надмірне зволоження. Вони можуть мати сильно кислу чи нейтральну реакцію ґрунтового розчину. Гранулометричний склад таких ґрунтів різний – від піщаного до суглинкового. Це невеликі площі біля сіл Омельне та Хрипськ. Осушені торфові ґрунти поступово перетворюються, залежно від потужності торфу, рівня ґрунтових вод і особливості використання, в оторфовані і мінеральні. Чим довше вони використовуються, тим їх еволюція і трансформація у менш родючі утворення зменшує середньозважений бал бонітету [51].

Основними ґрунтотвірними процесами у ґрунтах, що утворилися після спрацювання торфовищ, є розклад, гуміфікація, зменшення вмісту органічної речовини, алювіальні процеси, опідзолення тощо.

4.3. Клімат

За умовами атмосферної циркуляції територія Шацького поозер'я відноситься до західної частини Атлантико-континентальної області. Клімат характеризується помірно-вологим теплим літом, м'якою похмурою зимою і значною кількістю опадів. Середньорічна температура повітря становить 7,4°C, найнижча вона у січні (мінус 4,9°C), найвища – в липні (18,0°C). Перехід середньої добової температури повітря через 0 °C настає весною в середині березня та восени в кінці листопада [51].

Кількість атмосферних опадів, що випадає в регіоні, розподіляється наступним чином :на території Шацького поозер'я, – 590 мм, у Ковелі – 550–600 мм, у Маневичах – 650 мм. У холодний період – листопад-березень – випадає пересічно 169 мм за максимуму 350 мм і мінімуму – 90 мм. Для теплого періоду (квітня–жовтня) характерна більша кількість опадів – 431 мм за максимуму 620 мм і мінімуму 178 мм [22].

Розрахунки, виконані за 1985–2023 рр. по метеостанції (МС) Світязь, дали значення середньобагаторічної кількості опадів 591 мм. За період з 1985 по 2023 роки найбільше опадів випало в 2021 р. – 766,5 мм (на 29,7 %

більше ніж середнє багаторічне значення), а найменше в 1991 р. – 452,9 мм (на 23,4 % менше ніж середнє багаторічне значення) (рис. 4.3) [95].

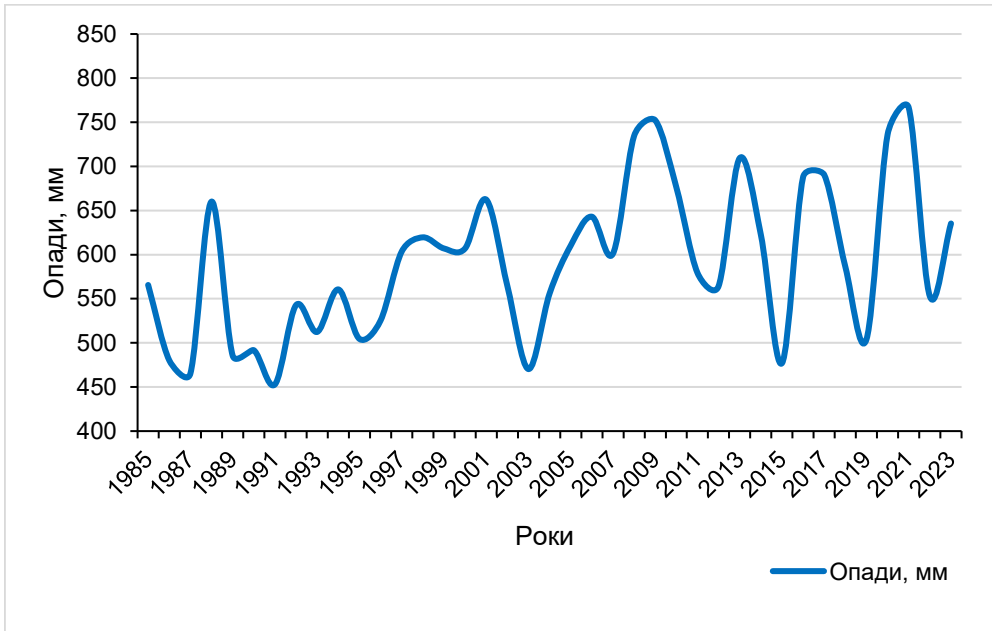


Рис. 4.3. Динаміка середньорічних значень кількості атмосферних опадів по МС Світязь за 1985-2023 рр. [95]

На рис. 4.3 можна прослідкувати слабку тенденцію до зростання кількості опадів впродовж 2005-2021 рр. по МС Світязь.

В роботі [39] також зазначається, що по МС Світязь у весняні місяці простежується слабо виражений тренд до збільшення сум опадів.

Крім того, менша кількість опадів у північно-західній частині Волинської області порівняно з іншими регіонами області пояснюється впливом підстильної поверхні, а саме значною площею водного дзеркала озер та річок, над якими в теплий період року повітря прогрівається менше, ніж над суходолом і, як наслідок, тут формується вищий тиск із меншою ймовірністю випадання опадів [39].

За багаторічними спостереженнями МС Світязь середня річна температура повітря складає + 7,5 °С (макс. + 39 °С, мін. - 33 °С), відносна вологість повітря 78 %. Найхолоднішими місяцями року є січень і лютий, найтеплішими – липень і серпень. Період загальної вегетації (середньодобова температура більше + 5 °С) становить 190 днів з 13.04 по 12.10, а активної вегетації (середньодобова температура більше + 10 °С) – 158 днів) (табл. 4.1) [51].

На території Шацького поозер'я домінують вітри західних румбів: узимку – західні, південний; влітку – західні, південно-східний.

Таблиця 4.1. Основні багаторічні кліматичні характеристики Шацького поозер'я за даними МС Світязь

Характеристика	Значення
Середня кількість опадів, мм	590
Максимальна температура повітря, °С	+39
Мінімальна температура повітря, °С	-33
Середньорічна температура повітря, °С	+7,5
Середньорічна відносна вологість повітря, %	78

Найбільша відносна вологість повітря – взимку, у грудні становить 87 %. Вона також висока у січні, лютому і листопаді, а від березня до квітня знижується на 7 %. У березні відносна вологість становить 80 %, травні – 70 %; у літні місяці знижується до 70–75 %. Максимальна вологість повітря – перед сходом сонця. Вологих днів найменше влітку. Упродовж року фіксують 112 вологих днів, серед них на холодну пору року припадає 93 дні [22].

Температура ґрунту взимку становить від - 2,5 до - 5,8 °С, найменша вона в січні. Навесні різко підвищується: в березні сягає 1,2 °С, у квітні – 9,2 °С, травні – 17 °С. Найвища температура ґрунту влітку, коли вона на 3–4 °С вища від температури повітря. Осіння температура ґрунту від місяця до місяця зменшується на 6–7 °С. У листопаді вона додатна – 2,3 °С. Річна амплітуда температури ґрунту пересічно становить 27,6 °С [22].

Глибина промерзання ґрунту незначна і в середньому становить 20–25 см. Навіть у найсуворіші зими промерзання ґрунту не перевищує 110 см. Заморозки ґрунту навесні фіксують у половині першої декади травня, а восени – у середині першої декади жовтня. Безморозний період на ґрунті становить 157 днів, тобто він коротший, ніж для повітря. Промерзання ґрунту (0 °С) в січні сягає 24 см, лютому – 33 см, а під озимую пшеницю в грудні – 22 см, у лютому – 38 см [22].

4.4. Гідрологічна характеристика

4.4.1. Гідрографія. В гідрографічному плані Шацькі озера та їхня водозбірна площа належить до басейну р. Західний Буг – водозбір Балтійського моря та басейну Вісли. Поблизу знаходяться витoki р. Прип'ять – водозбір Чорного моря та басейну р. Дніпро [16].

На території Шацького поозер'я нараховується 28 озер (рис. 4.4, табл. 4.2) із загальною площею близько 61,31 км², об'ємом водної маси 312,8 млн м³. В межах території Шацького національного природного парку знаходиться 23 озера. Площа озер коливається від 0,01 км² до 26,21 км². Важливими морфометричними характеристиками озер є площа водного дзеркала і середня глибина. Найбільшими і найглибшими є озера Світязь (максимальна глибина 58,4 м) та Пулемецьке (19,2 м) [63].

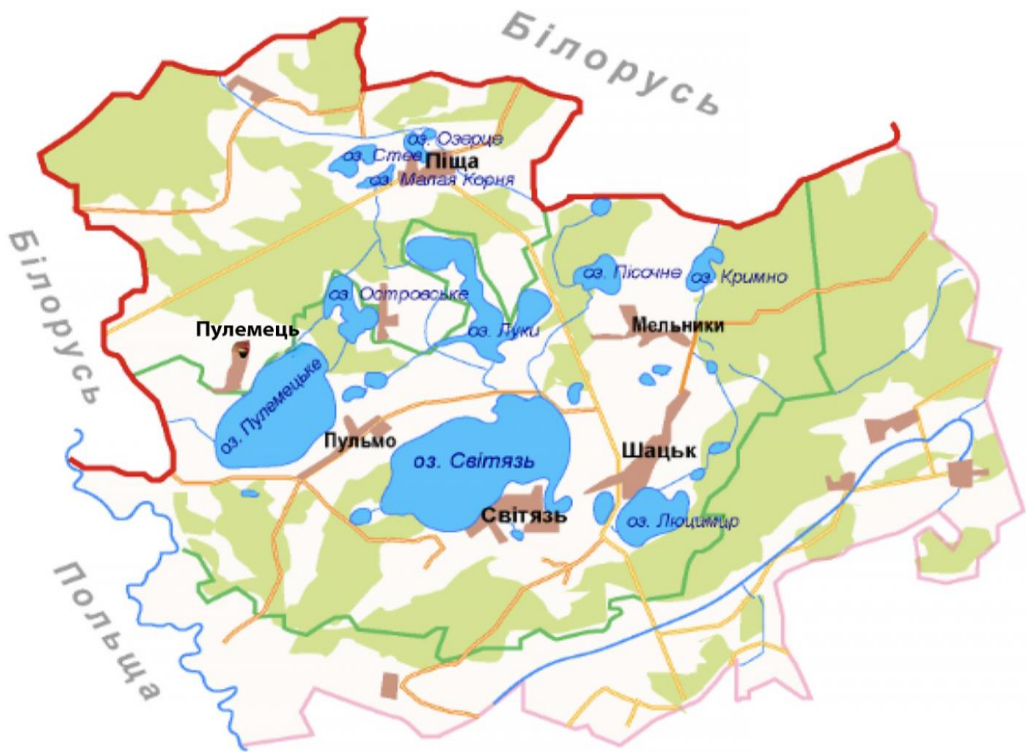


Рис. 4.4. Гідрографічна схема розташування Шацьких озер (північний захід Волинської області) [63]

За деякими винятками, інші озера є мілководними, з плоским дном і глибинами, які не перевищують 7 м. Найглибші озера (Світязь, Пулемецьке, Пісочне) мають у котловинах вузькі западини, глибини в яких сягають 20–50 м. Дно озер піщане, а в глибоких місцях – замулене. Береги переважно низькі, заболочені, порослі рослинністю [63].

Таблиця 4.2. Основні морфометричні характеристики Шацьких озер у Волинській області

№	Озеро	Площа акваторії, км ²	Об'єм води, тис. м ³	Довжина, км	Ширина, км	Глибина	
						середня, м	максимальна, м
		3	4	5	6	7	8
1	Світязь	26,21	19070,0	7,81	3,36	6,90	58,40
2	Люцимир	4,43	1949,2	3,10	1,43	3,40	11,2
3	Чорне Велике	0,84	169,7	1,36	0,62	1,77	4,8
4	Пулемецьке	15,52	6363,2	6,06	2,56	4,10	19,20

Закінчення таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Луки	6,42	4105,0	5,15	1,25	0,63	3,50
6	Острів'янське	2,11	4853,0	2,42	0,87	1,64	3,80
7	Пісочне	1,86	1283,4	1,85	1,00	4,00	16,20
8	Перемут	1,47	323,4	1,89	0,78	1,40	6,70
9	Кримно	1,41	408,9	2,15	0,65	2,87	5,50
10	Велике Піщанське	0,54	884,0	1,31	0,41	1,13	3,00
11	Соминець	0,44	1,10	0,52	2,2	3,2	3,0
12	Мошне	0,30	0,65	0,80	2,3	4,2	2,2
13	Чорне (Пульмо)	0,23	0,36	0,29	0,8	1,6	1,1
14	Озерце	0,20	0,60	0,40	0,8	1,2	2,0
15	Карасинець	0,15	0,55	0,35	0,5	1,7	0,4
16	Довге	0,12	0,40	0,20	1,4	3,0	2,5
17	Линовець	0,11	0,33	0,30	0,9	1,5	0,6
18	Кругле	0,09	0,30	0,30	1,0	2,0	1,5
19	Чорне Мале	0,36	439,0	0,9	0,6	1,2	2,5
20	Климівське	0,29	293,8	0,8	0,5	1,5	3,0
21	Плотичця	0,11	54,9	0,6	0,5	0,5	3,0
22	Герасимове	0,09	30,0	0,5	0,3	0,3	2,0
23	Звездка	0,04	18,9	0,3	0,3	0,5	3,0
24	Навраття	0,02	20,0	0,2	0,2	1,0	2,0
25	П'явочне	0,01	5,0	0,1	0,1	0,5	0,1
26	Олешно	0,16	120,0	0,35	0,3	1,0	2,0
27	Прибич	0,24	398,52	0,6	0,4	1,6	2,0
28	Ритець	0,04	71,4	0,3	0,2	1,7	6,0

Як видно з табл. 4.2, за морфометричними показниками (площею водного дзеркала та максимальною глибиною озерних улоговин) найбільші озера – Світязь (площа 26,21 км², максимальна глибина 58,4 м), Пулемецьке (15,52 км²), Луки (6,42 км²), Люцимир (4,43 км²).

Озеро Світязь має у котловинах вузькі западини, глибини в яких сягають 20–50 м. На озері є острів площею 7 га [63].

Важливо відзначити, що дно озер піщане, а в глибоких місцях – замулене. Береги озер переважно низькі, заболочені, порослі рослинністю. Рівень води в озерах залежить від кількості атмосферних опадів і живлення підземними водами. Крім того, певний вплив на режим рівнів води в Шацьких озерах має господарська діяльність людини. Зокрема, збільшення площі осушувальних меліорацій в регіоні в другій половині ХХ ст. певною мірою вплинуло на режим рівня води в озерах і, тим самим, на водорегулюючу роль озер [63].

4.4.2. Типізація озер за площею водного дзеркала. Типізація Шацьких озер за площею водного дзеркала згідно вимог ВРД ЄС [34]

показала, що тут немає «дуже великих» озер, є 2 «великих» озера (Світязь і Пулемецьке), 6 – «середніх», 5 – «малих», 15 – «дуже малих» (табл. 4.3).

Таблиця 4.3. Типізація Шацьких озер за площею водного дзеркала згідно з Водною рамковою директивою ЄС [63]

Тип озера	Площа водного дзеркала, км ²	Кількість озер	Частка від загальної кількості, %
Дуже велике	> 100	0	0
Велике	10–100	2	7
Середнє	1,0–10	6	22
Мале	0,5–1,0	5	18
Дуже мале	< 0,5	15	53
Всього	-	28	100

Таким чином, «дуже малі» - становлять 53% (рис. 4.5). В цілому ж в басейні Західного Бугу на території України «дуже малі» озера становлять 71% [59, 91].

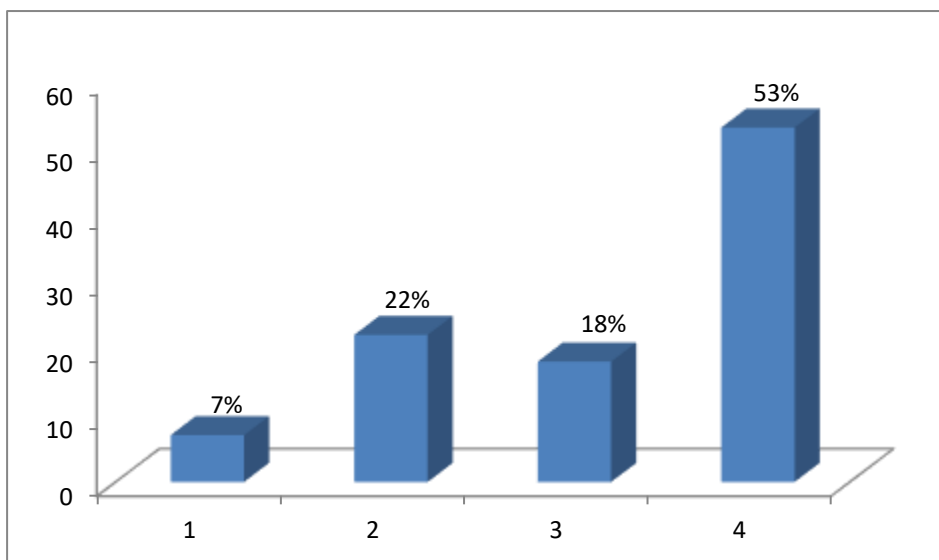


Рис. 4.5. Частка різних за площею озер в Шацькій озерній групі, %: 1 – «великі»; 2 – «середні»; 3 – «мали»; 4 – «дуже малі» (за типологією Водної рамкової директиви ЄС) [63]

Великими за площею є озера: Світязь, Пулемецьке. Середні за площею озера: Луки, Люцимир, Острів'янське, Пісочне, Перемут, Кримне. Малі за площею озера: Чорне Велике, Соминець, Чорне Мале, Карасинець, Озерце. Дуже малі за площею озера: Велике Піщанське, Мошне, Прибич,

Довге, Климівське, Кругле, Линовець, Герасимове, Ритець, Зведінка, Навраття, Олешно, Плотиччя, П'явочне, Мале Піщанське [63].

4.4.3. Типізація озер за середньою глибиною. Згідно типології ВРД ЄС за середньою глибиною у Шацькій групі виділяється лише два типи озер: «середньої глибини» (3-15 м) – 14% озер; «мілкі» (< 3 м) – 86% озер (табл. 4.4). «Глибоких» озер – немає (рис. 4.6).

Таблиця 4.4. Типізація Шацьких озер за середньою глибиною згідно Водної рамкової директиви ЄС [63]

Тип озера	Середня глибина, м	Кількість озер	Частка від загальної кількості, %
Глибоке	> 15	0	0
Середньої глибини	3-15	4	14
Мілке	< 3	24	86
Всього		28	100

Середніми за глибиною є 4 озера: Світязь, Пулемецьке, Пісочне, Люцимир. Всі інші 24 озера Шацької групи є мілкими.

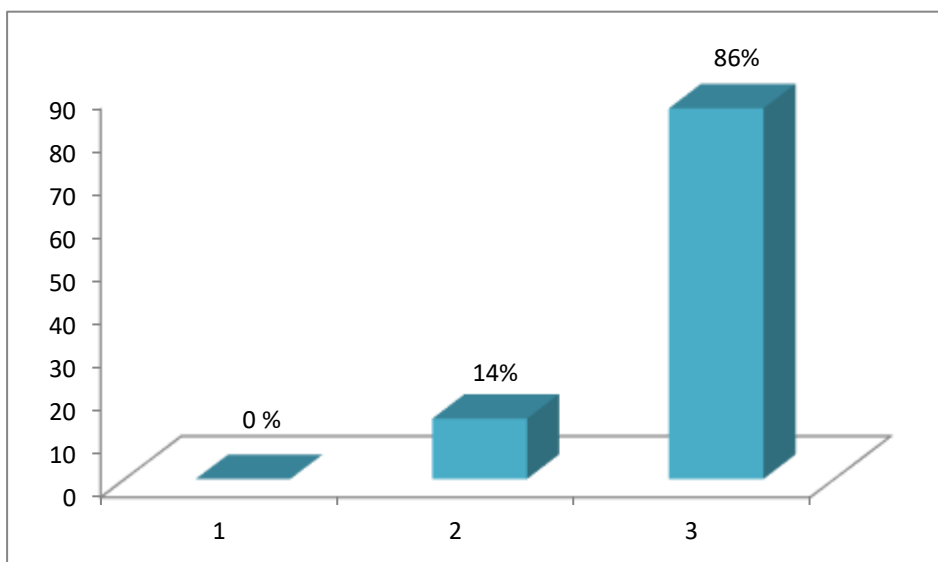


Рис. 4.6. Частка різних за середньою глибиною озер в Шацькій озерній групі, %: 1 – глибокі; 2 – середньої глибини; 3 – мілкі (за типологією Водної рамкової директиви ЄС) [63]

Виконана комплексна типізація Шацьких озер згідно з ВРД ЄС за гідрографічними ознаками (площа водного дзеркала, висота водозбору, середня глибина, поширення гірських порід) дозволила виділити 5 типів

озер: 1) великі озера за площею на низовині середньої глибини в силікатних породах (всього 2 – Світязь, Пулемецьке); 2) середні озера за площею на низовині середньої глибини в силікатних породах (всього 2 – Люцимир, Пісочне); 3) середні озера за площею на низовині мілкі за глибиною на силікатних породах (всього 4 – Луки, Острів'янське, Перемут, Кримне); 4) малі озера за площею на низовині мілкі за глибиною на силікатних породах (всього 5 – Чорне Велике, Соминець, Чорне Male, Карасинець, Озерце); 5) дуже малі озера за площею на низовині мілкі за глибиною на органічних породах (всього 15 – Велике Піщанське, Мошне, Прибич, Довге, Клімівське, Кругле, Линовець, Герасимове, Ритець, Звединка, Навраття, Олешно, Плотищя, П'явочне, Male Піщанське).

Крім відомих великих і середніх озер, які найбільше приваблюють рекреантів, виділяються дуже малі водні об'єкти дистрофного типу площею 0,01–0,18 км² (15 озер). За останні 80 років їхні параметри зменшилися у 2 рази (обміління, заростання). Такі озера перебувають на стадії зникнення. Частка таких озер становить 50 % (наприклад, П'явочне, Озерце, Навраття, Кругле, Довге, Герасимове, Клімівське, Male Піщанське та ін.) [40].

Унаслідок осушувальних меліорацій в регіоні, на фоні якого спостерігається часткове обміління озер і, відповідно, покращення умов зростання рослин-гідрофітів і гідрофітів, нагромадження донних відкладів посилюється. В озерах Кругле, Острів'янське, Герасимове, Звединка, Карасинець, Линовець та ін. товща донних відкладів сягає понад 5,0 м, а глибина озер всього 1,0–2,0 м [40, 92– 93].

4.4.4. Хімічний склад води. Значна кількість опадів у районі Шацьких озер сприяє доброму промиванню ґрунтів і відносному збідненню поверхневих вод, які живлять озера, на мінеральні сполуки (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Середньорічна концентрація основних йонів та мінералізація води озер Шацької групи, мг/дм³

Озеро	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Мінералізація
Світязь	122	10	13	34	4	15	198
Пулемецьке	134	14	14	40	5	11	218
Луки	85	3	12	20	4	12	136
Люцимир	171	14	18	50	4	18	275
Острів'янське	116	10	14	36	2	12	190
Пісочне	61	9	11	20	3	11	115
Перемут	70	2	12	15	2	15	190
Кримно	140	22	18	40	4	22	246
Чорне Велике	159	13	46	58	2	25	303
Велике Піщанське	79	11	21	24	4	14	163

Джерелами живлення озер тут є атмосферні опади та підземні води.

За основними йонами вода озер гідрокарбонатно-кальцієва з мінералізацією в діапазоні від 115 мг/дм³ (Пісочне) до 303 мг/дм³ (Велике Чорне) – див. табл. 4.5. У воді озера Світязь мінералізація займає проміжне положення – 198,8 мг/дм³ [57]. Тобто, досліджувані води є «помірно прісними» за класифікацією [56]. Мінімальна мінералізація води свідчить про більшу роль атмосферного живлення в озерах, а максимальна – про збільшення ролі підземного живлення.

5. ОЦІНКА СТАНУ ШАЦЬКИХ ОЗЕР З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ

5.1. Багаторічна динаміка площі озер (за індексом NDWI)

Площа водного дзеркала є одним з важливих гідрологічних показників, який має досить тісний зв'язок з рівнем води. Спостереження та аналіз багаторічної динаміки площі озер та рівня води в озері дає змогу краще вивчити динаміку озерних систем й формувати обґрунтований підхід до їхнього використання та охорони. Для дослідження багаторічної динаміки площі озер із застосуванням індексу NDWI серед Шацьких озер було обрано Світязь, Люцимир і Чорне Велике [95].

Для озера Світязь оцінка багаторічної динаміки площі водної поверхні була виконана за період 1985-2023 рр. (березень місяць). На рис. 5.1 для ілюстрації наведено оброблене зображення супутникового знімка за 2007 р. – рік максимального рівня води.

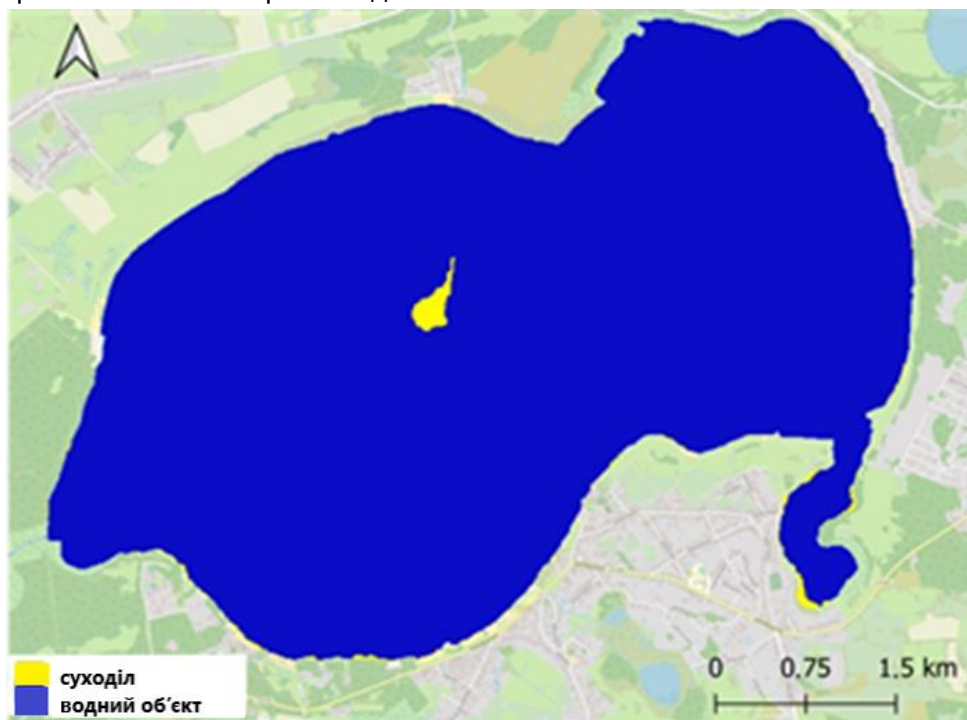


Рис. 5.1. Ілюстрація процесу визначена площі водного дзеркала озера Світязь (Шацькі озера) з використанням індексу NDWI (зображення обробленого супутникового знімка за 2007 р. – рік максимального рівня води)

Відзначимо, що характерними роками за період 1985–2023 рр. для озера Світязь були 2007 р. (максимальний рівень) та 2020 р. (мінімальний рівень). Рівень води в озері Світязь становив у ці роки відповідно 163,59 м та 163,06 м (амплітуда 0,53 м). Коли площа водного дзеркала озера зменшувалася, то на супутниковому знімку збільшувалася кількість пікселів в жовтому кольорі, що свідчить про відхід води від берега та його обміління.

Відзначимо, що весною 2007 р. відбулося збільшення площі водного дзеркала озера до 26,45 км², що перевищувало середньорічну площу водного дзеркала озера, натомість в 2020 р. вона значно зменшилась та становила 22,40 км² (85 % від середньорічної площі водного дзеркала озера).

Варто відзначити, що в 2023 р. площа водного дзеркала озера Світязь була найбільшою за останні 10 років – 25,75 км² (98 % з від середньорічної площі водного дзеркала озера), оскільки рівень води в озері також був найвищим за десятиліття, що в основному пов'язано із значними запасами снігу взимку (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Рівень води в озері Світязь в липні 2023 р. вищий ніж в попередні роки; південно-західна частина озера в районі пансіонату «Шацькі озера» (фото В.К. Хільчевського)

Через підвищення чи зниження рівня води відбувається й зміна водного дзеркала озер, тому на рис. 5.3 наведено графіки динаміки площ Шацьких озер (Світязь, Люцимир, Чорне Велике) по роках (1985–2023 рр.).

В озері Люцимир площа поверхні змінювалася за багаторічний період від 4,43 км² в 2007 р. (100 % від середньорічної площі озера) до 3,79 км² в 2020 р. (85 % від середньорічної площі водного дзеркала озера). На початку періоду спостережень в 1985 р. площа водного дзеркала озера становила 4,39 км² (99 % від середньорічної площі водного дзеркала озера), а в 2023 р. – 4,25 км² (96 % від середньорічної площі водного дзеркала озера).

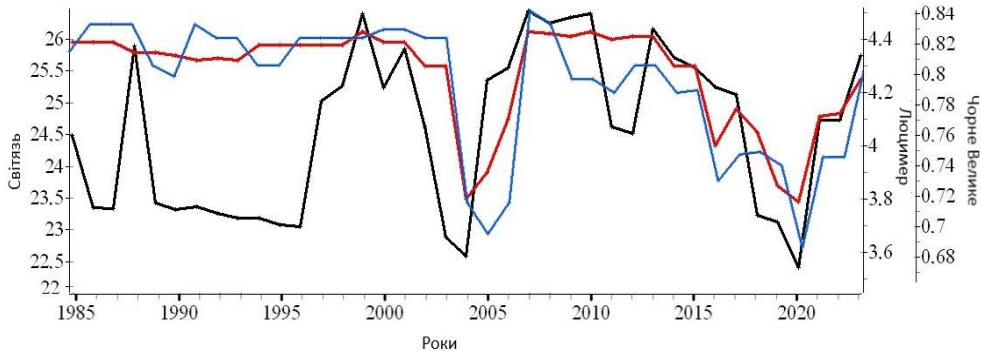


Рис. 5.3. Динаміка площі озер Світязь (чорний колір на графіку), Люцимир (червоний) та Чорне Велике (синій), визначеної за супутниковими знімками з використанням індексу NDWI (1985–2023 рр.), км²

В озері Чорне Велике площа водної поверхні змінювалася за багаторічний період від 0,84 км² в 2007 р. (100 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) до 0,667 км² в 2020 р. (79 % від середньорічної площі водного дзеркала озера). На початку періоду спостережень в 1985 р. площа водного дзеркала озера становила 0,81 км² (96 % від середньорічної площі водного дзеркала озера), а в 2023 р. – 0,80 км² (95 % від середньорічної площі водного дзеркала озера).

Таким чином, аналіз супутникових знімків, які показують коливання площі водної поверхні досліджуваних Шацьких озер за 1985–2023 рр., дозволив виділити наступні характерні роки: максимальної площі водного дзеркала озер (2007, 2010, 1999 рр.); мінімальної площі водного дзеркала озер (2020, 2019, 2004 рр.) – табл. 5.1 [95].

Таблиця 5.1. Площа водного дзеркала Шацьких озер за характерні роки, визначена за супутниковими знімками з використанням індексу NDWI (1985–2023 рр.), % від середньорічної

Назва озера	Площа озера максимальна		Площа озера мінімальна	
	% від середньорічної	рік	% від середньорічної	рік
1	2	3	4	5
Світязь	101	2007	85	2020
	101	2010	86	2004
	101	1999	88	2019

1	2	3	4	5
Люцимир	100	2007	85	2020
	100	2010	86	2004
	100	1999	87	2019
Чорне Велике	100	2007	79	2020
	100	2010	83	2004
	100	1999	87	2019

5.2. Багаторічна динаміка «цвітіння води» озер (за індексом NDTI)

«Цвітіння води» озера – це природне явище, що зумовлене масовим розвитком фітопланктону (мікроскопічних водоростей). яке проявляється через зміну кольору води (частіше на зелений) та погіршення кисневого режиму водойми. Чинниками, що зумовлюють цвітіння води у водному об'єкті є прояви застійного режиму водних мас, підвищення температури води в літній період та наявність біогенних елементів, які слугують поживою для фітопланктону.

А відтак, зрозуміло, що це явище має сезонний характер (для наших широт липень – серпень), поширюється на прибережній території та у затоках у верхньому шарі води товщиною 10–15 см. Не дивлячись на те, що озеро Світязь є одним з найчистіших великих озер України, йому також притаманні прояви «цвітіння води» в другій половині літа.

Занепокоєння викликає надмірне «цвітіння води» у водоймах, яке призводить до зміни гідрохімічного режиму водного об'єкта через нестачу кисню, помітного зниження якості води для користувачів, погіршення умов життєдіяльності водяних організмів.

Однією з причин надмірного «цвітіння води» може бути антропогенний вплив: надходження господарсько-побутових стічних вод, змив з сільськогосподарських угідь біогенних елементів (особливо азоту та фосфору), які містяться в мінеральних добривах.

Просторова порівняльна оцінка багаторічної динаміки площі «цвітіння води» озер Світязь, Люцимир та Чорне Велике виконувалася шляхом обробки супутникових знімків за допомогою індексу NDTI (за липень 1985–2023 рр.). На рис. 5.4а показано оброблене зображення супутникового знімка озера Чорне Велике за максимальної площі «цвітіння води» в 2004 р., а на рис. 5.4б – за мінімального розвитку цього явища в 1991 р. Загальна площа «цвітіння води» на акваторії озера (ΣF) підраховувалася шляхом додавання площ окремих фрагментів цвітіння ($F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$).

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n \quad (5.1)$$

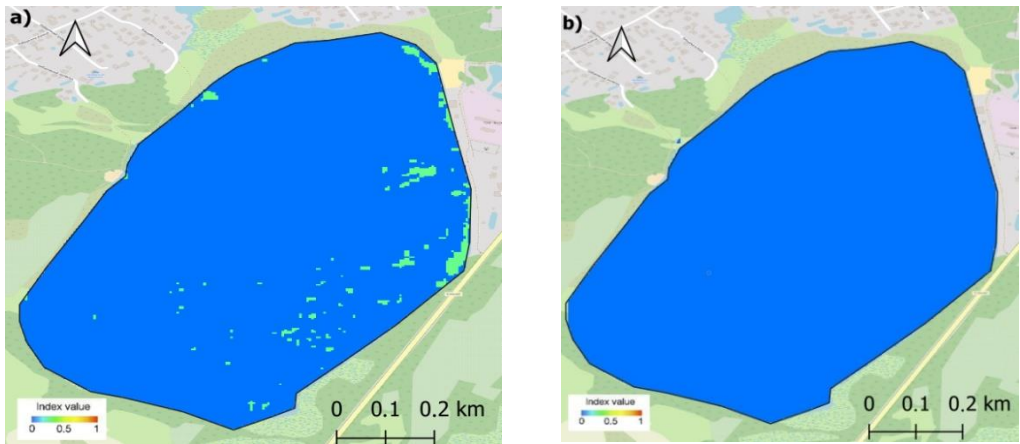


Рис. 5.4. Оброблені зображення супутникових знімків озера Чорне Велике, які показують площу «цвітіння води», визначену з використанням індексу NDTI (1985–2023 рр.): а) максимальне «цвітіння» – 2004 р.; б) мінімальне «цвітіння» – 1991 р.

В озері Світязь площа «цвітіння води» за багаторічний період (рис. 5.5) варіювалась в межах від 0,01 км² в 2006–2010 рр. (0,04 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) до 1,16 км² в 2019 р. (4,43 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) [95].

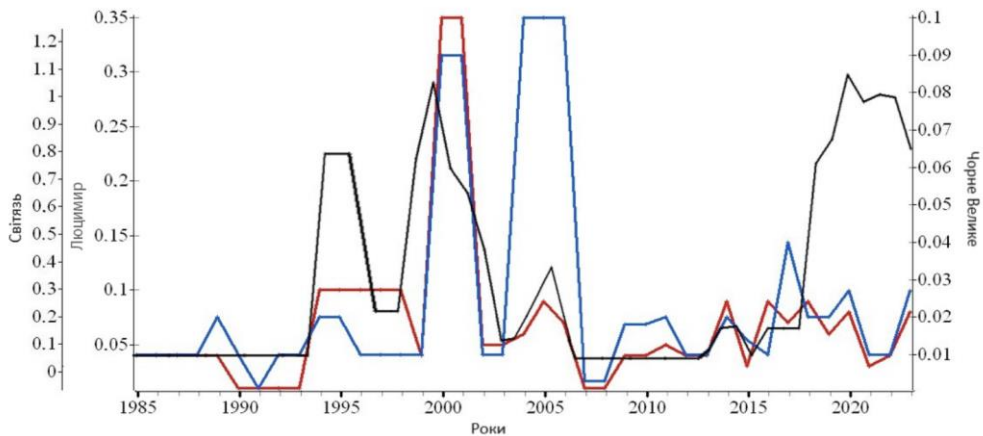


Рис. 5.5. Динаміка площі «цвітіння води» озер Світязь (чорний колір на графіку), Люцимир (червоний) та Чорне Велике (синій), визначеної за супутниковими знімками з використанням індексу NDTI (1985–2023 рр.), км²

Встановлено, що збільшення площі «цвітіння води» в озері було характерним для 1996 р., коли вона становила 1,15 км² (4,39 % від середньорічної площі водного дзеркала озера), а також протягом 2020–

2022 рр. (1,05–1,08 км²), що становить 4,00–4,12 % від середньорічної площі водного дзеркала озера.

Низькі значення площі «цвітіння води» від 0,02 км² (0,07 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) до 0,1 км² (0,5 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) були характерними відповідно для 1985–1990 рр. та 2011–2016 рр. (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Площа «цвітіння води» Шацьких озер за характерні роки, визначена за супутниковими знімками з використанням індексу NDTI (1985–2023 рр.), % від середньорічної

Назва озера	Площа «цвітіння води» озера максимальна		Площа «цвітіння води» озера мінімальна	
	% від середньорічної площі озера	рік	% від середньорічної ї площі озера	рік
Світязь	4,43	2019	0,04	2006-2010
	4,39	1996	0,07	1985-1990
	4,12	2021	0,5	2011-2016
Люцимир	23,5	2000-2001	0,2	1990-1993
	2,3	1994-1998	0,7	2015, 2021
Чорне Велике	11,9	2004-2006	0,1	1991
	10,7	2000-2001	0,4	2007-2008

В озері Люцимир площа «цвітіння води» (див. рис. 5.5) за багаторічний період варіювалась в межах від 0,01 км² в 1990–1993 рр. (0,2 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) до 1,04 км² в 2000–2001 рр. (23,5 % від середньорічної площі водного дзеркала озера). Збільшення площі «цвітіння води» в озері було характерним для 1994–1998 рр., коли вона становила 0,1 км² (2,3 % від середньорічної площі водного дзеркала озера), а також протягом 2005, 2014, 2016, 2018 рр. (0,09 км²) та 2020, 2023 рр. (0,08 км²), що становить 2,0–1,8 % від середньорічної площі водного дзеркала озера (див. табл. 5.2).

В озері Чорне Велике площа «цвітіння води» (див. рис. 5.5) за багаторічний період варіювалась в межах від 0,001 км² в 1991 р. (0,1 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) до 0,1 км² в 2004–2006 рр. (11,9 % від середньорічної площі водного дзеркала озера). Збільшення площі «цвітіння води» в озері було характерним для 2000–2001 рр., коли вона становила 0,09 км² (10,7 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) – див. табл. 5.2. В цілому ж, в переважну більшість років площа «цвітіння води» в озері Чорне Велике становить 0,01–0,02 км² (1,2–2,4 % від середньорічної площі водного дзеркала озера).

5.3. Зв'язок між багаторічними коливаннями атмосферних опадів, рівнями води та площею озера Світязь

Відомо, що завдяки обсягам води в озерах, вони є гідрологічним буфером, який запобігає прояву екстремальних явищ в регіоні, таким як критичні повені та паводки або ж посухи. В свою чергу, зміна клімату є загрозою для сталого існування озер.

Було проаналізовані середньорічні дані про рівні води на гідрологічному посту озера Світязь, кількість атмосферних опадів на метеостанції «Світязь» та площу водного дзеркала озера Світязь, визначену за супутниковими знімками за допомогою індексу NDWI (1985-2023 рр.) – рис. 5.6 [95].

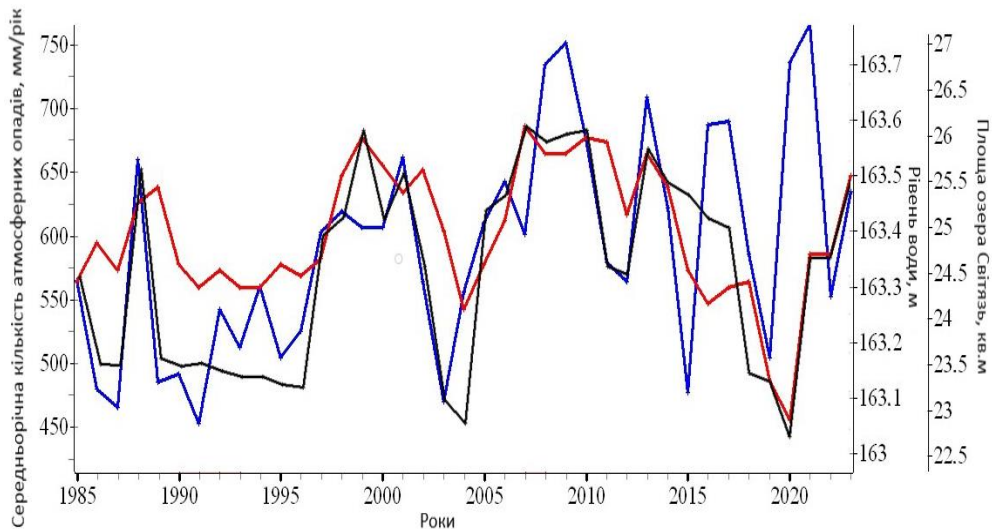


Рис. 5.6. Багаторічна динаміка площі озера Світязь в км² (чорний колір на графіку), рівня води в м (червоний) та кількості атмосферних опадів у мм на метеостанції Світязь (синій) за 1985–2023 рр.

При аналізі графіків (див. рис. 5.6) спостерігається тенденція взаємного зв'язку між динамікою досліджуваних характеристик.

З метою кількісного визначення цього зв'язку були розраховані коефіцієнти парної кореляції (r) між досліджуваними характеристиками з рядами, в яких кількість значень дорівнює 39 (табл. 5.3).

Коефіцієнт кореляції: між площею озера Світязь та рівнями води в озері – $r = 0,7$; між площею озера та атмосферними опадами – $r = 0,6$; між рівнем води в озері та атмосферними опадами – $r = 0,6$. Коефіцієнти кореляції є значимими за критерієм Стьюдента.

Таблиця 5.3. Коефіцієнти кореляції між площею озера Світязь (F), рівнями води в озері (h) та атмосферними опадами (X) за 1985–2023 рр.

Характеристики	Коефіцієнт кореляції
F --- h	0,7
F --- X	0,6
h --- X	0,6

5.4. Оцінка зв'язку між рекреаційним навантаженням та «цвітінням води» озера Світязь

Озера відіграють важливу роль у формуванні рекреаційного середовища, оскільки приваблюють відпочивальників своєю естетичною цінністю й можливістю активного відпочинку. Але при зростанні кількості рекреантів відповідно й підвищується рекреаційне навантаження на озера. Це вимагає постійного моніторингу та регулювання рекреаційного навантаження з метою збереження екологічного стану водних об'єктів, оскільки Шацькі озера входять до складу Шацького національного природного парку (НПП), заснованого 1983 р.

Значення цієї території у міжнародному природоохоронному контексті зросло з наданням їй статусу трilaterального транскордонного біосферного резервату «Західне Полісся». Його створення розпочалося в 2002 р., коли ЮНЕСКО надало статус біосферного резервату (БР) Шацькому НПП (Шацький БР), а в Польщі – національному парку «Поліський» (Поліський БР). У 2004 р. статус біосферного резервату в Білорусі отримав державний ландшафтний заказник «Прибузьке Полісся». У 2012 р. рішенням Міжнародної координаційної ради програми «Людина і біосфера» ЮНЕСКО в Парижі було утворено транскордонний біосферний резерват «Західне Полісся» на території України, Польщі та Білорусі. Транскордонним статусом ЮНЕСКО підтвердило виняткову природну цінність та значення території у збереженні та підтримці біорізноманіття в Європі і в світі. Крім того, у 1995 р. водно-болотні угіддя Шацького НПП в рамках Рамсарської конвенції віднесені до територій, що мають міжнародне значення, головним чином, як середовище існування водоплавних птахів [63].

Також після заснування Шацького НПП відбувалося щорічне зростання кількість відпочивальників, що призводить до значного антропогенного навантаження на Шацькі озера. Переважна більшість рекреантів прагне потрапити на озеро Світязь (рис. 5.7), також привабливим є озеро Пісочне.

Шляхом інтеграції даних з наукових публікацій та релевантних ЗМІ [8-10, 21, 69] нами було отримано ряд безперервних даних щорічного відвідування Шацьких озер в літній туристичний сезон протягом 1988–2025 рр. (табл. 5.4).



Рис. 5.7. Озеро Світязь влітку [10]

Аналіз багаторічної динаміки рекреаційної активності на території Шацького національного природного парку дозволяє простежити закономірності її розвитку та визначити ключові тенденції змін.

Таблиця 5.4. Кількість рекреантів, які щорічно відвідували Шацькі озера в літній сезон протягом 1988–2025 рр. (укладено В.К. Хільчевським та Л.В. Плічко)

№	Рік	Кількість рекреантів, тис. осіб	№	Рік	Кількість рекреантів, тис. осіб
1	1988	4	20	2007	92
2	1989	5	21	2008	120
3	1990	5	22	2009	131
4	1991	5	23	2010	139,7
5	1992	6	24	2011	120
6	1993	7	25	2012	129
7	1994	7	26	2013	111
8	1995	7	27	2014	111,3
9	1996	7	28	2015	142,3
10	1997	7	29	2016	110
11	1998	7	30	2017	93,2
12	1999	7	31	2018	98,5
13	2000	7	32	2019	150
14	2001	54	33	2020	175
15	2002	57	34	2021	145
16	2003	60	35	2022	35
17	2004	59	36	2023	100
18	2005	61	37	2024	140
19	2006	74	38	2025	200

Із рис. 5.8 видно, що протягом 1988–2000 рр. спостерігався відносно низький притік рекреантів на територію Шацького національного природного

парку – в межах 4–7 тис. осіб на рік. Починаючи з 2001 р. відбулося збільшення кількості рекреантів до 54 тис. (у 7,7 рази) і в подальшому проявляється позитивна динаміка щодо збільшення рекреантів. Протягом 2001-2010 рр. тривало зростання кількості рекреантів – до 139,7 тис. (у 2,6 рази порівняно з 2001 р.).

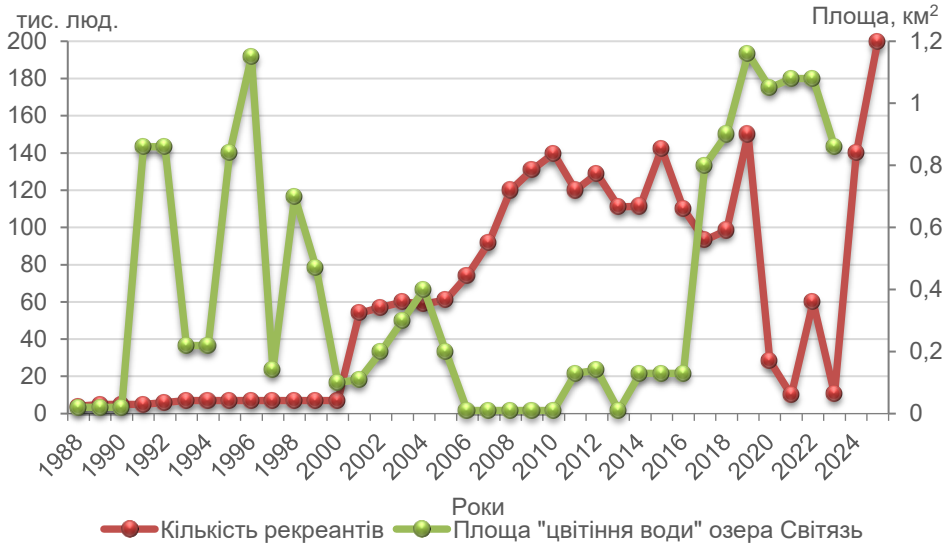


Рис. 5.8. Багаторічна динаміка «цвітіння води» озера Світязь (зелена крива) та кількості рекреантів (червона крива) на території Шацького НПП за 1988–2025 рр.

В період з 2011–2015 рр. спостерігалось стабільне навантаження з кількістю рекреантів в межах 110–142,3 тис. людей на рік. Протягом 2016–2018 рр. відбувалося певне зниження туристичної активності в Шацькому НПП (93–110 тис. людей на рік), яке змінилось на значний сплеск прибуття рекреантів в 2019 р. (150 тис. людей на рік) та в 2020 р. (175 тис. людей на рік). Водночас у 2022 р. простежувалось різке зниження (35 тис. людей на рік). Проте вже в 2023–2025 рр. фіксується відновлення позитивної динаміки з історичним максимумом 200 тис. людей в 2025 р.

При аналізі графіка (див. рис. 5.8) спостерігається тенденція слабого зв'язку між динамікою досліджуваних характеристик. Але розрахунок коефіцієнта кореляції: (r) між рядами, що характеризують площу «цвітіння води» в озері Світязь та кількість рекреантів, показав мале значення r, а саме: $r = 0,27$. Тобто, значимого зв'язку між збільшенням кількості рекреантів та площею «цвітіння води» в озері Світязь не виявлено.

Висновки

Оцінювання стану поверхневих вод засобами ГІС та ДЗЗ на сьогодні актуальне як при наукових дослідженнях, так і при інтегрованому управлінні водними ресурсами та охороні водних об'єктів.

Багато показників, які характеризують гідрологічний режим річок, можуть бути виміряні при наукових дослідженнях з використанням засобів ДЗЗ, таких як мультиспектральні, гіперспектральні, радіолокаційні та лідарні дані. Однак через високу вартість отримання даних, використання ДЗЗ для характеристики річок було орієнтовано здебільшого на пошук відповіді на конкретні дослідницькі питання при тематичних дослідженнях, а не на вирішення завдань оперативного впровадження для широкомасштабного застосування.

Сучасні системи ДЗЗ мають: високу оглядовість, можливість отримання миттєвої інформації про великі річкові басейни чи водні об'єкти; переходу від дискретної картини значень показників стану об'єкта в окремих пунктах до безперервної картини просторового розподілу показників; отримання інформації у важкодоступних місцях тощо.

Останнім часом для оцінювання стану поверхневих вод використовують не лише зображення водних об'єктів у кольорах, близьких до природних, а й певні індекси, які є комбінацією каналів знімальної апаратури. Наприклад, вода поглинає більшу частину вхідного випромінювання по всьому діапазону довжин хвиль. Тому, знаючи її типові характеристики спектрального випромінювання, можна ідентифікувати природні водойми на зображеннях дистанційного зондування та оцінити їхній стан на зображеннях літнього періоду.

На сьогодні найбільш відомими платформами для отримання інформації по ДЗЗ є: Copernicus Open Access Hub, EO Browser, USGS EarthExplorer та Earthdata Search NASA, Planet.

Достатньо ефективними є космічні програми Landsat, Sentinel, Terra та інші. Аналіз наукових публікацій по ДЗЗ у світі показує, що в цих публікаціях найбільше використано дані, отримані за космічною програмою Landsat.

Вибір програмного забезпечення для дистанційного зондування має важливе значення для ефективної обробки та аналізу супутникових знімків. Безкоштовні програми, такі як QGIS, SNAP та Google Earth Engine містять в собі інструменти для швидкої обробки та спектрального аналізу, класифікації зображень, виявлення змін земної поверхні та мають спрощену архітектуру, що не потребує професійних навичок користувача. Комерційні програми ArcGis, ENVI та ERDAS Imagine пропонують ширше коло функцій і спрямовані на професійне використання.

Річка Десна, на відміну від інших великих річок, не є зарегульованою – на ній не створено перешкод для вільної течії. Одночасно з цим, для Десни

властива велика природна інтенсивність переформування русла. Через її меандрування та водну ерозію постійно відбувається розмив та руйнування берегів річки. Для оцінки руслової деформації на різних морфодинамічних ділянках в межах басейну Десни було обрано супутникові знімки за 1983-2018 рр. При зіставленні космоснімків за різні роки використовувався програмний продукт ArcGIS. Це дозволило оцінити швидкість руслових деформацій, які полягають у зміщенні, закруті прямолінійного русла та поясів меандрування в бік одного з берегів. За допомогою різночасових супутникових знімків Landsat 4-8 з розрізненням 0,45 м було виділено ділянки на яких відбувається значне переформування берегів р. Десна в межах Чернігівської області.

Аналіз космічних даних, які характеризують весняну повінь на Десні за багаторічний період, дозволив створити інтегральну карту розвитку повені на Десні з позначенням затоплення території заплави в різні роки.

Шацькі озера є унікальним природним комплексом Волинського Полісся. Площа водного дзеркала озер є одним з важливих гідрологічних показників, який має досить тісний зв'язок з рівнем і обсягом води. Для дослідження багаторічної динаміки (1985–2023 рр.) площі Шацьких озер за супутниковими знімками із застосуванням індексу NDWI було обрано озера Світязь, Люцимир і Чорне Велике. Відзначимо, що весною 2007 р. відбулося збільшення площі водного дзеркала озера Світязь до 26,45 км², що перевищувало середньорічну площу водного дзеркала озера, натомість в 2020 р. вона значно зменшилась та становила 22,40 км² (85 % від середньорічного значення). Варто відзначити, що в 2023 р. площа водного дзеркала озера Світязь була найбільшою за останні 10 років.

Просторова порівняльна оцінка багаторічної динаміки площі «цвітіння води» озер Світязь, Люцимир та Чорне Велике виконувалася шляхом обробки супутникових знімків за допомогою індексу NDTI (за липень 1985–2023 рр.). В озері Світязь площа «цвітіння води» за багаторічний період варіювалась в межах від 0,01 км² в 2006–2010 рр. (0,04 % від середньорічної площі водного дзеркала озера) до 1,16 км² в 2019 р. (4,43 % від середньорічної площі водного дзеркала озера).

Виконані дослідження дозволили оцінити стан водних об'єктів засобами ГІС та ДЗЗ на прикладі басейну Десни в Чернігівській області та Шацьких озер на Волині (руслоформування, затоплення територій, динаміка площі водного дзеркала озер, «цвітіння води»).

Результати досліджень, висвітлені в монографії, мають практичне значення для фахівців у сфері водних ресурсів і земельних ресурсів. Вони можуть бути корисними також в освітньому процесі для забезпечення відповідних освітніх програм за спеціальностями G18 «Геодезія та землеустрій» та E4 «Науки про Землю».

Список використаних джерел

1. Азімов О.Т., Сасюк М.М. Технології дистанційного зондування Землі і ГІС при створенні інформаційно-аналітичної системи аналізу ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Матеріали конф. "ГІС Форум-2000". Київ, ГІС-Асоц. України, 2000. С. 66–72.

2. Альохіна О.В., Горбань І.М., Івченко Д.В. Оцінка фрагментування території біосферного резервату "Шацький" засобами ГІС. Екологічна безпека та природокористування. 2015. № 1. С. 116-123.

3. Альохіна О.В., Корусь М.М., Кошовий В.В., Мельник М.М., Муравський Л.І., Сидорук І.В., Юрчук П.В. Батиметричні дослідження озера Світязь: минуле, сучасність та перспективи. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2014. № 11. С. 24-32.

4. Байрак Г.Р., Муха Б.П. Дистанційні дослідження Землі: навч. посібник. Львів: Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. 712 с.

5. Білоус В.В., Боднар С.П. Фотограмметрія. Навчальний посібник. –К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021 р. – 137 с.

6. Василенко Є.В., Кошкіна О.В., Маслоva Т.В. Полігон як головна одиниця гідроморфологічного моніторингу озер. Український географічний журнал. 2018. 2. С. 34-37.

7. Водний кодекс України. 1995. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>

8. Воскресенська Н. Підсумки туристичного сезону на Шацьких озерах: скільки відпочивальників було влітку. Суспільне Луцьк. 2023. URL: <https://suspilne.media/lutsk/574907-pidsumki-turistichnogo-sezonu-na-sackih-ozerah-skilki-vidpocivalnikiv-bulo-vlitku/>

9. Громик О.М. Дослідження водних туристичних маршрутів Шацького національного природного парку. Мат-ли Всеукр. наук.-практичної інтернет-конференції. Рекреаційно-туристичний потенціал регіонів України: сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку. 2019. URL: <https://turizmliroi.wordpress.com/2019/05/25/>

10. Данилюк О. Цьогоріч Шацькі озера відвідали 140 тисяч туристів. Волинська газета. 2024. URL: <https://vln.media/tsogorich-shatski-ozera-vidvidaly-140-tysiach-turystiv/>

11. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Серія: Дніпровсько-Донецька. Аркуші: М-36-II (Чернігів), N-36-XXXI (Гомель), N-36-XXXII (Новозибків), М-36-I (Прип'ять). К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, Північне державне регіональне геологічне підприємство "Північгеологія", 2004. 94 с.

12. Дериколенко О.І., Пістун М.Д., Мачихін Ф.М., Іщук С.І. Чернігівська область: (економіко-географічна характеристика). Київ, Вища школа, 1975. 175 с.

13. Деснянське басейнове управління водних ресурсів. Офіційний сайт. URL: <https://desna-buvr.gov.ua/>

14. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text

15. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2023 рік. Департамент екології та природних ресурсів Чернігівської облдержадміністрації. Чернігів, 2024. 231 с. URL: <https://eco.cg.gov.ua/index.php?id=15801&tp=1&pg>

16. Забокрицька М.Р., Хільчевський В.К., Манченко, А.П. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України, К.: Ніка-Центр, 2006. 184 с.

17. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом», 2016. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1641-19>

18. Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи. Ніжин, НДУ ім. М. Гоголя. 2018. 380 с.

19. Зацерковний В.І., Плічко Л.В., Шищенко О.І. Застосування геоінформаційних технологій в задачах моделювання та прогнозування затоплень територій. Геоінформатика. 2019. 2 (70). С. 74-83.

20. Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Віршило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. 510 с.

21. Зуб Л.М. Оцінка екологічного стану оз. Світязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів аквальних біотопів. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2012. № 9. С. 337-343.

22. Зузук Ф., Нетробчук, І. Рельєф і клімат як природні ресурси Волинської області. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2014. 45. С. 29–38

23. Зузук Ф.В., Колошко Л.К., Карпюк З.К. Осушені землі Волинської області та їх охорона : монографія. Луцьк, Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. 294 с.

24. Ільїн Л.В. Лімнок комплекси Українського Полісся. У 2-х т. Т.1: Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту імені Лесі Українки, 2008. 316 с

25. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП. К.: 2019. 111 с.

26. Карпенко Н.І. Геоморфологія озерних улоговин Шацького поозер'я. Гляціал і перегляціал Волинського Полісся: матер. XIII укр.-польськ. Семінару. Вінниця, 2001. С. 220-231.

27. Кирилюк О.В. Антропогенні зміни гідроморфологічних умов басейну річки Гуків. Вісник Дніпропетровського нац. університету. Серія: Геологія. Географія. 2009. 17 (11). С. 136-140.

28. Комар М.В., Зацерковний В.І., Плічко Л.В., Кривоберець, С.В. Геоінформаційні технології в задачах моделювання і прогнозування повеней. Технічні науки та технології. 2017. № 2 (8). С. 89-98.

29. Кошовий В.В., Муравський Л.І., Юрчук П.В., Мельничок Л.С., Альохіна О.В., Курсіш І.Й., Турич В.М. Використання геоінформаційної системи Шацького національного природного парку для виявлення екологічних загроз. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. 2012. № 9. С. 16-23.

30. Красовський Г.Я., Петросов В.А. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. К.: Наукова думка, 2003. 223 с.

31. Лозовицький П.С., Лузовицька Ю.А., Лозовицький А.П., Молочко, М.А. Передкартографічні дослідження складу води річки Десни. Часопис картографії. 2009. 14. С. 69-77.

32. Лялько В.І., Федоровський О.Д., Попов М.О. [та ін.]. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. К.: Наукова думка, 2006. 352 с.

33. Мартинюк В.О., Томченко О.В. Використання засобів дистанційного зондування Землі до оцінювання природно-антропогенних трансформацій озер Поліського регіону. Український журнал дистанційного зондування Землі, 2021. 8 (2). С. 27–35.

34. Методика визначення масивів поверхневих та підземних вод. Затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України 14.01.2019 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0287-19>.

35. Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод. Затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 14.01.2019 № 5. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text>

36. Ободовський Ю.О., Хільчевський В.К., Ободовський О.Г. Гідроморфоекологічна оцінка руслових процесів річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України): монографія / За ред. О.Г. Ободовського О. Г. К.: Прінт сервіс, 2018. 193 с.

37. Основи дистанційного зондування Землі : історія та практичне застосування: навч. посіб. / С.О. Довгий, В.І. Лялько, С.М. Бабійчук, Т.Л. Кучма, О.В. Томченко, Л.Я. Юрків. К.: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.

38. Основні антропогенні впливи на кількісний та якісний стан поверхневих вод, у тому числі точкових та дифузних джерел. Суббасейни Верхнього Дніпра і річки Десна. Держводагентство України. URL: <https://desna-buvr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/Antropohenne-navantazhennia-Desna-Verkhniy-Dnipro-2.pdf>

39. Павловська Т.С., Білецький Ю.В., Валянський С.В. Просторовий розподіл і режим випадання атмосферних опадів у Волинській області. Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. 2024. 3. С. 13–23.

40. Пасічник М.П., Ільїн Л.В., Хільчевський В.К. Сапропелеві рекреаційно-туристичні ресурси озер Волинської області. Луцьк: Волиньполіграф, 2021. 172 с.

41. Пеньков В.О. Фотограмметрія: конспект лекцій. Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 100 с.

42. Пілічева М.О. Сучасні технології геоінформатики, фотограмметрії та дистанційного зондування: конспект лекцій. Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2023. 110 с.

43. Порядок здійснення державного моніторингу вод. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 р. № 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>

44. Порядок розроблення плану управління річковим басейном. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 18.05.2017 р. № 336. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/336-2017-%D0%BF#Text>

45. Правила експлуатації каскаду ставків на р. Стрижень у м. Чернігові. ТОВ «Водпроект – Чернігів». 40.18/8311_6-ПЕ. Чернігів. 2018. URL: <https://chernigiv-rada.gov.ua/poekty-rishen-vikonkomu/sid-30/id-14086/>

46. Природа Волинської області. За ред. К.І. Геренчука. Львів: Вища школа, 1975. 147 с.

47. Про виділення суббасейнів та водогосподарських ділянок у межах встановлених районів річкових басейнів. Наказ Міністерства захисту довкілля та

природних ресурсів від 26.01.2017 № 25. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0208-17#Text>

48. Проект плану управління суббасейном Верхнього Дніпра та річки Десна. Частина 1 (2025-2030). Державне агентство водних ресурсів України. URL: https://davr.gov.ua/fls18/Dnipro/V_Dnipro_Desna.pdf

49. Романенко В.Д. Основи гідроекології: підручник. К.: Обереги, 2001.. 728 с.:

50. Симоненко В.Д. Чернігівська область: географічний нарис. К.; 1958. 109 с.

51. Стратегія розвитку Шацької селищної територіальної громади на період до 2027 року. Шацька СТГ Волинської обл., 2023. URL: https://rada.info/upload/users_files/04334235/1fcdcf1d44f79468a47bfca6a17fdaf.pdf

52. Томченко О.В. Системний підхід при оцінці екологічного стану мілководь Київського водосховища на основі даних ДЗЗ. Вісник Астрономічної школи. 2013. Т. 9. № 1. С. 59–63.

53. Томченко О.В., Підгорецька Л.В., Федоровський О.Д. Комплексна оцінка екологічного стану водойми на основі космічної інформації дистанційного зондування Землі (на прикладі оз. Світязь та верхів'я Київського водосховища). Гідроакустичний журнал. 2013. № 10. С. 111–117.

54. Федоровський О.Д., Зуб Л.М., Томченко О.В., Хижняк А.В., Ходоровський А.Я., Підгорецька Л.В. Оцінювання стану водних екосистем на основі методів системного аналізу аерокосмічної й наземної інформації. Екологічні науки. 2018. № 4(23). С. 106–111.

55. Хільчевський В.К. Десна (притока Дніпра). Велика українська енциклопедія. URL: [https://vue.gov.ua/Десна\(притокаДніпра\)](https://vue.gov.ua/Десна(притокаДніпра))

56. Хільчевський В.К. До питання про класифікацію природних вод за мінералізацією. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2003. № 5. С. 11-18.

57. Хільчевський В.К. Перші комплексні гідрохімічні дослідження Шацьких озер на Волині у 1975 р. – початок формування наукової школи гідрохімії та гідроекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2015. № 4 (39). С. 64-71.

58. Хільчевський В.К. Сейм (річка). Велика українська енциклопедія. URL: [https://vue.gov.ua/Сейм\(річка\)](https://vue.gov.ua/Сейм(річка))

59. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. № 1(44). С. 8-20.

60. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Гідрологія та гідрохімія: навч. посібник. К.: ДІА, 2025. 352 с.

61. Хільчевський В.К., Гребінь В.В., Забокрицька М.Р. Управління річковими басейнами: навч. посібник. К.: ДІА, 2024. 236 с.

62. Хільчевський В., Гребінь В., Забокрицька М., Соловей Т. Типологія річок й озер української частини басейну Західного Бугу згідно з вимогами Водної рамкової директиви ЄС та її узгодження з дослідженнями в Польщі. Вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки. Серія: Географічні науки. 2016. Вип. 14 (339). С. 16-24.

63. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. № 3(58). С. 92-100.

64. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. К.: ДІА, 2023. 228 с.

65. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К.: Ніка-Центр, 2012. 312 с.

66. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. К.: ВПЦ "Київський університет", 2019. 343 с.

67. Хільчевський В.К., Плічко Л.В., Забокрицька М.Р. Спектральний індекс RI: застосування для екологічної оцінки акваторії озера Світязь у зв'язку з динамікою водності (2019-2023 рр.). Збірник наук. праць: Шацький національний природний парк – дослідження та охорона природно-заповідного фонду у 1983-2023 роках (з нагоди 40-річчя парку). Львів: Камула, 2024. С. 132-137.

68. Шацьке прозер'я: характеристика абіотичних і біотичних компонентів екосистем. За ред. Й.В. Царика. Львів: Євросвіт, 2008. 216 с.

69. Шевчук Б. Підсумки туристичного сезону на Шацьких озерах. Суспільне Луцьк. 2024. URL: <https://suspilne.media/lutsk/845833-pidsumki-turistichnogo-sezonu-na-sackih-ozerah-v-gromadi-pidrahovuut-dohodi/>

70. Шевчук С.А., Шевченко І.А. Визначення екологічного стану водосховищ за допомогою методів дистанційного моніторингу. Меліорація і водне господарство. 2013. №.100 (2). С. 42-52.

71. Шевчук С.А., Шевченко І.А. Визначення показників якості води за даними дистанційного зондування землі. Меліорація і водне господарство. 2016. № 104 (2). С. 16-25.

72. Шумаков Ф.Т., Азімов, О.Т. Використання геоінформаційних технологій і даних дистанційного зондування Землі для оцінки якості води у водоймах. Геоінформатика. 2013. 4 (48). С. 58–73.

73. A catalog of NASA images and animations of our home planet. NASA Visible Earth - Home. URL: <https://visibleearth.nasa.gov/images/74672/ukraine>

74. Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). USGS EROS Archive. URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-advanced-very-high-resolution-radiometer-avhrr-sensor>

75. ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/#/>

76. ASTERWEB Gallery Map. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/map/>

77. Brezonik P., Menken K.D., Bauer M. Landsat-Based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM). Lake and Reservoir Management. 2005. 21, 373-382. <https://doi.org/10.1080/07438140509354442>

78. Brivio P.A., Giardino C., Zilioli E. Determination of chlorophyll concentration changes in Lake Garda using an image-based radiative transfer code for Landsat TM images. International Journal of Remote Sensing. 2001. 22, 487-502 DOI: 10.1080/014311601450059

79. Bukata R.P., Burton J.H., Jerome J.H. Use of chromaticity in remote measurements of water quality. Remote Sensing of Environment. 1983. 13, 161. URL: doi: 10.1016/0034-4257(83)90020-2

80. Carlson R.E. A Trophic State Index for Lakes. Limnology and Oceanography. 1977. V. 22 (2). 361–369

81. Copernicus Programme. SentiWiki Home. URL: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/copernicus-programme>

82. Diédhiou C., Diop S., Faye G., Moshod T., Wade S. Study on the Applicability of Landsat-8 Images as a Tool for Monitoring the Trophic State of Lake Guiers (Senegal). Journal of Water Resource and Protection. 2019. 11, 434-447.

83. Earthdata Search NASA. URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/>

84. Emerald Swirls of Algae in Lake Winnipeg. NASA Earth Observatory. Home. 2023. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151918/emerald-swirls-of-algae-in-lake-winnipeg>

85. ENVI. Remote Sensing Software for Image Processing & Analysis, URL: <https://www.nv5geospatialsoftware.com/Products/ENVI>

86. EO Browser. Sentinel Hub. URL: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>

87. Erdas Imagine – Geonity. Welcome to Geonity! - One stop Geospatial Tutorials. URL: <https://geonity.astrosah.com.np/tutorials/erdas>

88. ESRI. Data formats supported in ArcGIS. URL: https://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Data_formats_supported_in_ArcGIS

89. Fahad A. Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI). Proc. SPIE 7825, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2010, 782506 (18 October 2010); DOI: 10.1117/12.862096.

90. Gao B.C. A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, in SPIE's 1995 Symposium on OE. Aerospace Sensing and Dual Use Photonics, Orlando, FL, 1995, Vol. 2480, pp. 258-266

91. Khilchevskiy V.K., Grebin V.V., Zabokrytska M.R. Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations. Hydrobiological Journal. 2019. 55(3). 95-102. DOI: 10.1615/HydrobJ.v55.i3.110.

92. Khilchevskiy V., Ilyin L., Pasichnyk M., Zabokrytska M., Ilyina O. Hydrography, hydrochemistry and composition of sapropel of Shatsk Lakes. Journal of Water and Land Development, 2022, No 54, 184-193. DOI: 10.24425/jwld.2022.141571

93. Khilchevskiy V.K., Pasichnyk M.P., Ilyin L.V., Zabokrytska M.R., Ilyina O.V. Hydrographic characteristics of the Shatsk Lakes according to the EU Water Framework Directive. Proceedings 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2021. EAGE. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2002>

94. Khilchevskiy V.K., Pasichnyk M.P., Ilyin L.V., Zabokrytska M.R., Ilyina O.V. Research of the state of lake systems in Volyn region with the use of satellite images. Proceedings 20th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics. May 2021. EAGE 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521002>

95. Khilchevskiy V., Plichko L., Zabokrytska M., Sherstyuk N. Assessment of the dynamics of the area of the Shatsk Lakes over a long-term period based on remote sensing data in connection with fluctuations in their level (1985–2023). Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2025. 34(1), 126-135.

96. Khilchevskiy V.K., Plichko L.V., Zabokrytska M.R., Pasichnyk M.P. The study of group of Shatsk Lakes (BNDVI index) during the season of minimum recreational load – 2022. Proceedings 16th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2022. EAGE. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580010>

97. Lacaux J.P., Tourre Y.M., Vignolles C., Ndione J.A., Lafaye M. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. Remote Sens. Environ. 2007. 106. 66–74.

98. Landgrebe D.A. Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing. Wiley, Germany, 2005.

99. Landsat Missions. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
100. Landsat MSS. URL: https://www.landscapetoolbox.org/remote-sensor-types/landsat-mss/?utm_source=chatgpt.com
101. Landsat Science. A joint NASA/USGS Earth observation program. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
102. Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley, 2015. 768 p.
103. Marcus A., Fonstad M. Remote sensing of rivers: the emergence of a subdiscipline in the river sciences. *Earth Surf Process Landf.* 2010. 35. 1867–1872
104. Olmanson L.G., Brezonik P.L., Finlay J.C., Bauer M.E. Comparison of Landsat 8 and Landsat 7 for Regional Measurements of CDOM and Water Clarity in Lakes. *Remote Sensing of Environment*, 2016. 185, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.007>
105. Planet Satellite Imaging. Planet. Planet Labs: Satellite Imagery & Earth Data Analytics. URL: <https://www.planet.com/>
106. Platform – Google Earth Engine. Google Earth Engine. URL <https://earthengine.google.com/platform/>
107. Plichko L.V., Zatserkovnyi V.I., Khilchevskiy V.K. FAI definition in the water area of Svityaz based on satellite images as a preliminary study of the possible eutrophication of the lake. *Proceedings 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov 2021. EAGE. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2053>
108. Plichko L., Zatserkovnyi V., Khilchevskiy V., Ilchenko A., Nikolaienko O. Using the Surface Algal Bloom Index to assess the ecological state of a small river an urbanized area and the possibility of its revitalization. *Proceedings 20th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics.* May 2021. EAGE. 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521124>
109. Plichko L.V., Zatserkovnyi V.I., Khilchevskiy V.K., Mizernaya M., Bakytzhan A. Assessment of changes a number of surface water bodies within the sub-basin of the Desna River using remote sensing materials. *Proceedings 19th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics.* May 2020. EAGE. 1-5. DOI: 10.3997/2214-4609.2020geo101
110. Plichko L.V., Zatserkovnyi V.I., Khilchevskiy V.K., Zabaluyev V.O., Malik T.M. The dynamics of flooding of the territory during spring floods in the Desna River basin (Chernihiv region). *Proceedings 14th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment.* Nov 2020. EAGE. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056060>
111. QGIS overview. QGIS Web Site. Spatial without Compromise. QGIS Web Site. URL: <https://qgis.org/project/overview/>
112. Rajar R. The role of mathematical models, physical models and field measurements in water pollution problems. *Transactions on Ecology and the Environment.* 1997. 14. 546–555.
113. Remote Sensing. NASA Earthdata. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/remote-sensing>
114. Ritchie R., Cooper C.M., Schiebe F.R. The relationship of MMS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll and temperature in Moon lake, Mississippi. *Remote Sensing of Environment.* 1990. 33: 137-148. DOI: 10.1016/0034-4257(90)90039-O
115. Sea Surface Temperature – Pathfinder CDR. National Centers for Environmental Information (NCEI). URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/pathfinder-sea-surface-temperature>

116. Sentinel-Hub by Sinergise. Sentinel. Sentinel Hub custom scripts. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel/>
117. Schowengerdt R.A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. Academic Press, 2007.
118. Shyshenko O., Zatserkovnyi V., Plichko L., Bogoslavskiy M. (2018). Modeling of flooding zones in the territory of the Chernigov region by means of GIS. Proceedings 12th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Nov 2018. EAGE. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902036>
119. SNAP – STEP. STEP – Science Toolbox Exploitation Platform. URL: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>
120. Spectral Bandpasses for all Landsat Sensors. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/media/images/spectral-bandpasses-all-landsat-sensors>
121. State of Lake Winnipeg 2nd Edition (2020). Environment and Climate Change Canada. Manitoba Agriculture and Resource Development. URL: https://www.gov.mb.ca/sd/water/pubs/water/lakes-beaches-rivers/state_lake_wpg_report_tech.pdf
122. Terra Instruments. NASA - Terra. The EOS Flagship. URL: <https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments>
123. The Basics of the Electromagnetic Spectrum.. URL: <https://leadertechinc.com/basics-electromagnetic-spectrum/>
124. The Nature of Geographic Information. Spectral Response Patterns. URL: <https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/node/1906>
125. Trophic State Index (TSI). Lake County Water Atlas. URL: https://lake.wateratlas.usf.edu/library/learn-more/learnmore.aspx?toolsection=lm_tsi
126. USGS EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
127. Weng Q. An Introduction to Contemporary Remote Sensing. McGraw-Hill Education, United States. 2011.
128. Wulder M.A., Roy D.P., Radeloff V.C., Loveland Th.R., Anderson M.C., Johnson D.M., Healey S., Zhu Z., Scambos T.A., Pahlevan N., Hansen M., Gorelick N., Crawford Ch.J., Masek J.G., Hermosilla T., White J.C., Belward A.S., Schaaf Cr., Woodcock C.E., Huntington J.L., Lymburner L., Hostert P., Gao F., Lyapustin A., Pekel Jean-Fr., Strobl P., Cook Br.D. Fifty years of Landsat science and impacts. Remote Sensing of Environment. 2022. 280, 113-195, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195>
129. Zatserkovnyi V.I., Plichko L.V. Analysis of approaches to river basin management in monitoring surface water quality using GIS. SGEM 2018. Conference Proceedings of 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2 -8 July 2018, Albena, Bulgaria), Vol. 18, Is. 2.2. 57-64
130. Zatserkovnyi V.I., Plichko L.V., Malik T.M., Nikolaienko O.Ye., Pampukha I.V. Monitoring surface water status using an integrated indicator. Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Conference Proceedings of 13th International Scientific Conference/ 12–15 November 2019 EAGE. 1-5.
131. Zhu Z., Woodcock C.E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. 2012. 118, 83–94.

References

1. Azimov O.T., Sasyuk M.M. Remote sensing technologies of the Earth and GIS in the creation of an information and analytical system for analyzing the risk of emergencies of a technogenic and natural nature. Proceedings of the conf. "GIS Forum-2000". Kyiv, GIS-Assoc. of Ukraine, 2000. P. 66–72 (in Ukrainian).
2. Alyokhina O.V., Gorban I.M., Ivchenko D.V. Assessment of fragmentation of the territory of the Shatsky Biosphere Reserve using GIS. Ecological Safety and Nature Management. 2015. No. 1. P. 116-123 (in Ukrainian).
3. Alyokhina O.V., Korus M.M., Koshevyi V.V., Melnyk M.M., Muravsky L.I., Sydoruk I.V., Yurchuk P.V. Bathymetric studies of Lake Svityaz: past, present and prospects. Nature of Western Polissya and adjacent territories. 2014. No. 11. P. 24-32 (in Ukrainian).
4. Bayrak G.R., Mukha B. P. Remote sensing of the Earth: a textbook. Lviv: Publishing center of the I. Franko Lviv National University, 2010. 712 p. (in Ukrainian).
5. Bilous V.V., Bodnar S.P. Photogrammetry. Textbook. –K.: Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2021 – 137 p. (in Ukrainian).
6. Vasylenko E.V., Koshkina O.V., Maslova T.V. Polygon as the main unit of hydromorphological monitoring of lakes. Ukrainian Geographical Journal. 2018. 2. P. 34-37 (in Ukrainian).
7. Water Code of Ukraine. 1995. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (in Ukrainian).
8. Voskresenska N. Results of the tourist season on the Shatsk lakes: how many vacationers were there in the summer. Suspilne Lutsk. 2023. URL: <https://suspilne.media/lutsk/574907-pidsumki-turisticnogo-sezonu-na-sackih-ozerah-skilki-vidpocivalnikiv-bulo-vlitku/> (in Ukrainian).
9. Gromyk O.M. Research of water tourist routes of the Shatsk National Nature Park. Materials of the All-Ukrainian scientific and practical Internet conference. Recreational and tourist potential of the regions of Ukraine: current state, problems and prospects for development. 2019. URL: <https://turizmlirol.wordpress.com/2019/05/25/> (in Ukrainian).
10. Danylyuk O. This year, Shatski lakes were visited by 140 thousand tourists. Volynska Gazeta. 2024. URL: <https://vln.media/tsogorich-shatski-ozera-vidvidaly-140-tysiach-turystiv/> (in Ukrainian).
11. State geological map of Ukraine. Scale 1:200000. Series: Dnipro-Donetsk. Sheets: M-36-II (Chernihiv), N-36-XXXI (Gomel), N-36-XXXII (Novozybkiv), M-36-I (Pripyat). Kyiv: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Northern State Regional Geological Enterprise "Pivnichgeologiya", 2004. 94 p. (in Ukrainian).
12. Derykolenko O.I., Pistun M.D., Machikhin F.M., Ishchuk S.I. Chernihiv region: (economic and geographical characteristics). Kyiv, Higher School, 1975. 175 p. (in Ukrainian).
13. Desnyan Basin Water Resources Management. Official website. URL: <https://desna-buvr.gov.ua/> (in Ukrainian).
14. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (in Ukrainian).
15. Report on the state of the environment in Chernihiv region for 2023. Department of Ecology and Natural Resources of the Chernihiv Regional State Administration. Chernihiv, 2024. 231 p. URL: <https://eco.cg.gov.ua/index.php?id=15801&tp=1&pg> (in Ukrainian).

16. Zabokrytska M.R., Khilchevskyi V.K., Manchenko, A.P. Hydroecological state of the Western Bug basin in Ukraine, Kyiv: Nika-Center, 2006. 184 p. (in Ukrainian).
17. Law of Ukraine "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on the Implementation of Integrated Approaches in Water Resources Management Based on the Basin Principle", 2016. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1641-19> (in Ukrainian).
18. Zatserkovnyi V.I. Remote Sensing of the Earth. Physical Foundations. Nizhyn, NDU named after M. Gogol. 2018. 380 p. (in Ukrainian).
19. Zatserkovnyi V.I., Plichko L.V., Shyshenko O.I. Application of Geoinformation Technologies in the Problems of Modeling and Forecasting of Flooding of Territories. Geoinformatics. 2019. 2 (70). P. 74-83 (in Ukrainian).
20. Zatserkovnyi V.I., Tishaev I.V., Virshylo I.V., Demidov V.K. Geoinformation systems in Earth sciences. Nizhyn: M. Gogol National University, 2016. 510 p. (in Ukrainian).
21. Zub L.M. Assessment of the ecological state of Lake Svityaz based on the long-term dynamics of plant complexes of aquatic biotopes. Nature of Western Polissya and adjacent territories. 2012. No. 9. P. 337-343 (in Ukrainian).
22. Zuzuk F., Netrobchuk, I. Relief and climate as natural resources of the Volyn region. Bulletin of the Lviv University. Geographical series. 2014. 45. P. 29-38
23. Zuzuk F.V., Koloshko L.K., Karpyuk Z.K. Drained lands of the Volyn region and their protection: monograph. Lutsk, Volyn. National University named after Lesya Ukrainka, 2012. 294 p. (in Ukrainian).
24. Ilyin L.V. Limnocomplexes of the Ukrainian Polissya. In 2 volumes. Vol. 1: Natural and geographical foundations of research and regional patterns. Lutsk: RVV "Vezha" Volyn. National University named after Lesya Ukrainka, 2008. 316 p. (in Ukrainian).
25. Information yearbook on the activation of dangerous exogenous geological processes in the territory of Ukraine according to the monitoring data of the EGP. K.: 2019. 111 p. (in Ukrainian).
26. Karpenko N.I. Geomorphology of lake basins of the Shatsk lake region. Glacial and pereglaial Volyn Polissya: materials of the 13th Ukrainian-Polish Seminar. Vinnytsia, 2001. P. 220-231 (in Ukrainian).
27. Kyrylyuk O.V. Anthropogenic changes in hydromorphological conditions of the Gukiv River basin. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University. Series: Geology. Geography. 2009. 17 (11). P. 136-140 (in Ukrainian).
28. Komar M.V., Zatserkovny V.I., Plichko L.V., Kryvoberets, S.V. Geoinformation technologies in the tasks of modeling and forecasting floods. Technical Sciences and Technologies. 2017. No. 2 (8). P. 89-98 (in Ukrainian).
29. Koshevy V.V., Muravsky L.I., Yurchuk P.V., Melnychok L.S., Alyokhina O.V., Kursish I.Y., Turych V.M. Using the geoinformation system of the Shatsk National Nature Park to identify environmental threats. Nature of Western Polissya and adjacent territories. 2012. No. 9. P. 16-23 (in Ukrainian).
30. Krasovsky G.Ya., Petrosov V.A. Information technologies for space monitoring of aquatic ecosystems and forecasting urban water consumption. Kyiv: Naukova Dumka, 2003. 223 p. (in Ukrainian).
31. Lozovitskyi P.S., Luzovitska Yu.A., Lozovitskyi A.P., Molochko, M.A. Pre-cartographic studies of the water composition of the Desna River. Journal of Cartography. 2009. 14. P. 69-77 (in Ukrainian).

32. Lyalko V.I., Fedorovskyi O.D., Popov M.O. [et al.]. Multispectral methods of remote sensing of the Earth in environmental management problems. Kyiv: Naukova Dumka, 2006. 352 p. (in Ukrainian).

33. Martyniuk V.O., Tomchenko O.V. Using remote sensing of the Earth to assess natural and anthropogenic transformations of lakes in the Polesie region. *Ukrainian Journal of Remote Sensing of the Earth*, 2021. 8 (2). P. 27–35 (in Ukrainian).

34. Methodology for determining surface and groundwater bodies. Approved by order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine dated 14.01.2019 No. 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0287-19> (in Ukrainian).

35. Methodology for assigning a surface water body to one of the classes of ecological and chemical states of a surface water body, as well as assigning an artificial or significantly modified surface water body to one of the classes of ecological potential of an artificial or significantly modified surface water body. Approved by order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine dated 14.01.2019 No. 5. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text> (in Ukrainian).

36. Obodovskyi Yu.O., Khilchevskyi V.K., Obodovskyi O.G. Hydromorphoecological assessment of riverbed processes of the upper part of the Tysa basin (within Ukraine): monograph / Ed. O.G. Obodovskyi O. G. K.: Print Service, 2018. 193 p. (in Ukrainian).

37. Fundamentals of remote sensing of the Earth: history and practical application: textbook. / S.O. Dovgyi, V.I. Lyalko, S.M. Babiychuk, T.L. Kuchma, O.V. Tomchenko, L.Ya. Yurkiv. K.: Institute of Gifted Children of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2019. 316 p. (in Ukrainian).

38. Main anthropogenic impacts on the quantitative and qualitative state of surface waters, including point and diffuse sources. Subbasins of the Upper Dnieper and Desna Rivers. State Water Agency of Ukraine. URL: <https://desna-buvr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/Antropohenne-navantazhennia-Desna-Verkhniy-Dnipro-2.pdf> (in Ukrainian).

39. Pavlovska T.S., Biletsky Yu.V., Valyansky S.V. Spatial distribution and precipitation regime in the Volyn region. *Geographical journal of the Lesya Ukrainka Volyn National University*. 2024. 3. P. 13–23 (in Ukrainian).

40. Pasichnyk M.P., Ilyin L.V., Khilchevsky V.K. Sapropel recreational and tourist resources of lakes of the Volyn region. Lutsk: Volynpoligraf, 2021. 172 p. (in Ukrainian).

41. Penkov V.O. Photogrammetry: lecture notes. Kharkiv, KhNUMG named after O.M. Beketov, 2019. 100 p. (in Ukrainian).

42. Pilicheva M.O. Modern technologies of geoinformatics, photogrammetry and remote sensing: lecture notes. Kharkiv, KhNUMG named after O.M. Beketov, 2023. 110 p. (in Ukrainian).

43. Procedure for implementing state water monitoring. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 19.09.2018 No. 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).

44. Procedure for developing a river basin management plan. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 18.05.2017 No. 336. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/336-2017-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).

45. Rules for the operation of the cascade of ponds on the Strizhen River in the city of Chernihiv. LLC "Vodproekt - Chernihiv". 40.18/8311_6-PE. Chernihiv. 2018. URL: <https://chernigiv-rada.gov.ua/poekty-rishen-vikonkomu/sid-30/id-14086/> (in Ukrainian).

46. Nature of the Volyn region. Edited by K.I. Gerenchuk. Lviv: Higher School, 1975. 147 p. (in Ukrainian).

47. On the allocation of sub-basins and water management areas within the established areas of river basins. Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources dated 01/26/2017 No. 25. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0208-17#Text> (in Ukrainian).

48. Draft management plan for the Upper Dnieper and Desna River subbasin. Part 1 (2025-2030). State Agency of Water Resources of Ukraine. URL: https://davr.gov.ua/fls18/Dnipro/V_Dnipro_Desna.pdf (in Ukrainian).

49. Romanenko V.D. Fundamentals of hydroecology: textbook. Kyiv: Oberegy, 2001.. 728 p. (in Ukrainian).

50. Symonenko V.D. Chernihiv region: geographical sketch. Kyiv; 1958. 109 p. (in Ukrainian).

51. Development strategy of the Shatsk settlement territorial community for the period until 2027. Shatsk STG Volyn region, 2023. URL: https://rada.info/upload/users_files/04334235/1fcdcf1d44f79468a47bfca6a17fdaf.pdf (in Ukrainian).

52. Tomchenko O.V. System approach to assessing the ecological state of shallow waters of the Kyiv reservoir based on remote sensing data. Bulletin of the Astronomical School. 2013. Vol. 9. No. 1. P. 59–63 (in Ukrainian).

53. Tomchenko O.V., Pidhoretska L.V., Fedorovsky O.D. Comprehensive assessment of the ecological state of the reservoir based on space information from remote sensing of the Earth (on the example of Lake Svityaz and the upper reaches of the Kyiv reservoir). Hydroacoustic Journal. 2013. No. 10. P. 111–117 (in Ukrainian).

54. Fedorovskiy O.D., Zub L.M., Tomchenko O.V., Khyzhnyak A.V., Khodorovskiy A.Ya., Pidhoretska L.V. Assessment of the state of aquatic ecosystems based on methods of system analysis of aerospace and ground information. Ecological Sciences. 2018. No. 4(23). P. 106–111 (in Ukrainian).

55. Khilchevskiy V.K. Desna (a tributary of the Dnieper). Great Ukrainian Encyclopedia. URL: [https://vue.gov.ua/Desna \(a tributary of the Dnieper\)](https://vue.gov.ua/Desna%20(a%20tributary%20of%20the%20Dnieper)) (in Ukrainian).

56. Khilchevskiy V.K. On the question of the classification of natural waters by mineralization. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2003. No. 5. P. 11-18 (in Ukrainian).

57. Khilchevskiy V.K. The first comprehensive hydrochemical studies of Shatsk lakes in Volyn in 1975 - the beginning of the formation of the scientific school of hydrochemistry and hydroecology of the Taras Shevchenko National University of Kyiv // Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2015. No. 4 (39). P. 64-71 (in Ukrainian).

58. Khilchevskiy V.K. Seym (river). Great Ukrainian Encyclopedia. URL: [https://vue.gov.ua/Seym \(river\)](https://vue.gov.ua/Seym%20(river)) (in Ukrainian).

59. Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V. Hydrographic and water management zoning of the territory of Ukraine, approved in 2016 - implementation of the provisions of the EU WFD. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2017. No. 1(44). P. 8-20 (in Ukrainian).

60. Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V. Hydrology and hydrochemistry: a textbook. Kyiv: DIA, 2025. 352 p. (in Ukrainian).

61. Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V., Zabokrytska M.R. River basin management: a textbook. Kyiv: DIA, 2024. 236 p. (in Ukrainian).

62. Khilchevskiy V., Hrebin V., Zabokrytska M., Solovey T. Typology of rivers and lakes of the Ukrainian part of the Western Bug basin according to the requirements of the EU Water Framework Directive and its coordination with research in Poland. Bulletin of the Lesya Ukrainka Eastern European National University. Series: Geographical Sciences. 2016. Issue 14 (339). P. 16-24 (in Ukrainian).

63. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R. Main aspects of morphometry and hydrochemistry of Shatsk lakes. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2020. No. 3(58). P. 92-100 (in Ukrainian).

64. Khilchevskiy V.K., Zabokrytska M.R., Stelmakh V.Yu. Hydroecological aspects of water supply and wastewater disposal: a textbook. Kyiv: DIA, 2023. 228 p. (in Ukrainian).

65. Khilchevskiy V.K., Osadchyi V.I., Kurylo S.M. Fundamentals of hydrochemistry: textbook. Kyiv: Nika-Center, 2012. 312 p. (in Ukrainian).

66. Khilchevskiy V.K., Osadchyi V.I., Kurylo S.M. Regional hydrochemistry of Ukraine: textbook. Kyiv: VPC "Kyiv University", 2019. 343 p. (in Ukrainian).

67. Khilchevskiy V.K., Plichko L.V., Zabokrytska M.R. Spectral index RI: application for ecological assessment of the water area of Lake Svityaz in connection with the dynamics of water content (2019-2023). Collection of Sciences. works: Shatsk National Nature Park - research and protection of the nature reserve fund in 1983-2023 (on the occasion of the 40th anniversary of the park). Lviv: Kamula, 2024. P. 132-137 (in Ukrainian).

68. Shatsk Lake District: Characteristics of abiotic and biotic components of ecosystems. Edited by Y.V. Tsaryk. Lviv: Eurosvit, 2008. 216 p. (in Ukrainian).

69. Shevchuk B. Results of the tourist season on Shatsk lakes. Suspilne Lutsk. 2024. URL: <https://suspilne.media/lutsk/845833-pidsumki-turisticnogo-sezonu-na-sackih-ozerah-v-gromadi-pidrahovuut-dohodi/> (in Ukrainian).

70. Shevchuk S.A., Shevchenko I.A. Determination of the ecological state of reservoirs using remote monitoring methods. Land Reclamation and Water Management. 2013. No. 100 (2). P. 42-52 (in Ukrainian).

71. Shevchuk S.A., Shevchenko I.A. Determination of water quality indicators using remote sensing data. Land Reclamation and Water Management. 2016. No. 104 (2). P. 16-25 (in Ukrainian).

72. Shumakov F.T., Azimov, O.T. Using geoinformation technologies and remote sensing data to assess water quality in water bodies. Geoinformatics. 2013. 4 (48). P. 58-73 (in Ukrainian).

73. A catalog of NASA images and animations of our home planet. NASA Visible Earth - Home. URL: <https://visibleearth.nasa.gov/images/74672/ukraine>

74. Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). USGS EROS Archive. URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-advanced-very-high-resolution-radiometer-avhrr-sensor>

75. ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/#/>

76. ASTERWEB Gallery Map. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/map/>

77. Brezonik P., Menken K.D., Bauer M. Landsat-Based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM). Lake and Reservoir Management. 2005. 21, 373-382. <https://doi.org/10.1080/07438140509354442>

78. Brivio P.A., Giardino C., Zilioli E. Determination of chlorophyll concentration changes in Lake Garda using an image-based radiative transfer code for Landsat TM images. International Journal of Remote Sensing. 2001. 22, 487-502 DOI: 10.1080/014311601450059

79. Bukata R.P., Burton J.H., Jerome J.H. Use of chromaticity in remote measurements of water quality. *Remote Sensing of Environment*. 1983. 13, 161. URL: doi: 10.1016/0034-4257(83)90020-2
80. Carlson R.E. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography*. 1977. V. 22 (2). 361–369
81. Copernicus Programme. SentiWiki Home. URL: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/copernicus-programme>
82. Diédhiou C., Diop S., Faye G., Moshod T., Wade S. Study on the Applicability of Landsat-8 Images as a Tool for Monitoring the Trophic State of Lake Guiers (Senegal). *Journal of Water Resource and Protection*. 2019. 11, 434-447.
83. Earthdata Search NASA. URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/>
84. Emerald Swirls of Algae in Lake Winnipeg. NASA Earth Observatory. Home. 2023. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151918/emerald-swirls-of-algae-in-lake-winnipeg>
85. ENVI. Remote Sensing Software for Image Processing & Analysis, URL: <https://www.nv5geospatialsoftware.com/Products/ENVI>
86. EO Browser. Sentinel Hub. URL: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>
87. Erdas Imagine – Geonity. Welcome to Geonity! - One stop Geospatial Tutorials. URL: <https://geonity.astroshah.com.np/tutorials/erdas>
88. ESRI. Data formats supported in ArcGIS. URL: https://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Data_formats_supported_in_ArcGIS
89. Fahad A. Detection of surface algal blooms using the newly developed algorithm surface algal bloom index (SABI). *Proc. SPIE 7825, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2010*, 782506 (18 October 2010); DOI: 10.1117/12.862096.
90. Gao B.C. A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, in *SPIE's 1995 Symposium on OE. Aerospace Sensing and Dual Use Photonics*, Orlando, FL, 1995, Vol. 2480, pp. 258-266
91. Khilchevskiy V.K., Grebin V.V., Zabokrytska M.R. Abiotic Typology of the Rivers and Lakes of the Ukrainian Section of the Vistula River Basin and its Comparison with Results of Polish Investigations. *Hydrobiological Journal*. 2019. 55(3). 95-102. DOI: 10.1615/HydrobJ.v55.i3.110.
92. Khilchevskiy V., Ilyin L., Pasichnyk M., Zabokrytska M., Ilyina O. Hydrography, hydrochemistry and composition of sapropel of Shatsk Lakes. *Journal of Water and Land Development*, 2022, No 54, 184-193. DOI: 10.24425/jwld.2022.141571
93. Khilchevskiy V.K., Pasichnyk M.P., Ilyin L.V., Zabokrytska M.R., Ilyina O.V. Hydrographic characteristics of the Shatsk Lakes according to the EU Water Framework Directive. *Proceedings 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov 2021. EAGE. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2002>
94. Khilchevskiy V.K., Pasichnyk M.P., Ilyin L.V., Zabokrytska M.R., Ilyina O.V. Research of the state of lake systems in Volyn region with the use of satellite images. *Proceedings 20th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics*. May 2021. EAGE 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521002>
95. Khilchevskiy V., Plichko L., Zabokrytska M., Sherstyuk N. Assessment of the dynamics of the area of the Shatsk Lakes over a long-term period based on

remote sensing data in connection with fluctuations in their level (1985–2023). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2025. 34(1), 126-135.

96. Khilchevskiy V.K., Plichko L.V., Zabokrytska M.R., Pasichnyk M.P. The study of group of Shatsk Lakes (BNDVI index) during the season of minimum recreational load – 2022. *Proceedings 16th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov 2022. EAGE. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580010>

97. Lacaux J.P., Tourre Y.M., Vignolles C., Ndione J.A., Lafaye M. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sens. Environ.* 2007. 106. 66–74.

98. Landgrebe D.A. *Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing*. Wiley, Germany, 2005.

99. Landsat Missions. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions>

100. Landsat MSS. URL: https://www.landscapetoolbox.org/remote-sensor-types/landsat-mss/?utm_source=chatgpt.com

101. Landsat Science. A joint NASA/USGS Earth observation program. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>

102. Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley, 2015. 768 p.

103. Marcus A., Fonstad M. Remote sensing of rivers: the emergence of a subdiscipline in the river sciences. *Earth Surf Process Landf.* 2010. 35. 1867–1872

104. Olmanson L.G., Brezonik P.L., Finlay J.C., Bauer M.E. Comparison of Landsat 8 and Landsat 7 for Regional Measurements of CDOM and Water Clarity in Lakes. *Remote Sensing of Environment*, 2016. 185, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.007>

105. Planet Satellite Imaging. Planet. Planet Labs: Satellite Imagery & Earth Data Analytics. URL: <https://www.planet.com/>

106. Platform – Google Earth Engine. Google Earth Engine. URL: <https://earthengine.google.com/platform/>

107. Plichko L.V., Zatserkovnyi V.I., Khilchevskiy V.K. FAI definition in the water area of Svityaz based on satellite images as a preliminary study of the possible eutrophication of the lake. *Proceedings 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov 2021. EAGE. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2053>

108. Plichko L., Zatserkovnyi V., Khilchevskiy V., Ilchenko A., Nikolaienko O. Using the Surface Algal Bloom Index to assess the ecological state of a small river an urbanized area and the possibility of its revitalization. *Proceedings 20th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics*. May 2021. EAGE. 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521124>

109. Plichko L.V., Zatserkovnyi V.I., Khilchevskiy V.K., Mizernaya M., Bakytzhan A. Assessment of changes a number of surface water bodies within the sub-basin of the Desna River using remote sensing materials. *Proceedings 19th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics*. May 2020. EAGE.1-5. DOI: 10.3997/2214-4609.2020geo101

110. Plichko L.V., Zatserkovnyi V.I., Khilchevskiy V.K., Zabaluyev V.O., Malik T.M. The dynamics of flooding of the territory during spring floods in the Desna River basin (Chernihiv region). *Proceedings 14th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Nov 2020. EAGE. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056060>

111. QGIS overview. QGIS Web Site. Spatial without Compromise. QGIS Web Site. URL: <https://qgis.org/project/overview/>

112. Rajar R. The role of mathematical models, physical models and field measurements in water pollution problems. *Transactions on Ecology and the Environment*. 1997. 14. 546–555.

113. Remote Sensing. NASA Earthdata. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/remote-sensing>

114. Ritchie R., Cooper C.M., Schiebe F.R. The relationship of MMS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll and temperature in Moon lake, Mississippi. *Remote Sensing of Environment*. 1990. 33: 137-148. DOI: 10.1016/0034-4257(90)90039-O

115. Sea Surface Temperature – Pathfinder CDR. National Centers for Environmental Information (NCEI). URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/pathfinder-sea-surface-temperature>

116. Sentinel-Hub by Sinergise. Sentinel. Sentinel Hub custom scripts. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel/>

117. Schowengerdt R.A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Academic Press, 2007.

118. Shyshenko O., Zatserkovnyi V., Plichko L., Bogoslavskiy M. (2018). Modeling of flooding zones in the territory of the Chernigov region by means of GIS. *Proceedings 12th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Nov 2018. EAGE. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902036>

119. SNAP – STEP. STEP – Science Toolbox Exploitation Platform. URL: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

120. Spectral Bandpasses for all Landsat Sensors. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/media/images/spectral-bandpasses-all-landsat-sensors>

121. State of Lake Winnipeg 2nd Edition (2020). Environment and Climate Change Canada. Manitoba Agriculture and Resource Development. URL: https://www.gov.mb.ca/sd/water/pubs/water/lakes-beaches-rivers/state_lake_wpg_report_tech.pdf

122. Terra Instruments. NASA - Terra. The EOS Flagship. URL: <https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments>

123. The Basics of the Electromagnetic Spectrum.. URL: <https://leadertechinc.com/basics-electromagnetic-spectrum/>

124. The Nature of Geographic Information. Spectral Response Patterns. URL: <https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/node/1906>

125. Trophic State Index (TSI). Lake County Water Atlas. URL: https://lake.wateratlas.usf.edu/library/learn-more/learnmore.aspx?toolsection=lm_tsi

126. USGS EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

127. Weng Q. *An Introduction to Contemporary Remote Sensing*. McGraw-Hill Education, United States. 2011.

128. Wulder M.A., Roy D.P., Radeloff V.C., Loveland Th.R., Anderson M.C., Johnson D.M., Healey S., Zhu Z., Scambos T.A., Pahlevan N., Hansen M., Gorelick N., Crawford Ch.J., Masek J.G., Hermosilla T., White J.C., Belward A.S., Schaaf Cr., Woodcock C.E., Huntington J.L., Lymburner L., Hostert P., Gao F., Lyapustin A., Pekel Jean-Fr., Strobl P., Cook Br.D. Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*. 2022. 280, 113-195, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195>

129. Zatserkovnyi V.I., Plichko L.V. Analysis of approaches to river basin management in monitoring surface water quality using GIS. *SGEM 2018. Conference Proceedings of 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 2 -8 July 2018, Albena, Bulgaria*, Vol. 18, Is. 2.2. 57-64

130. Zatserkovnyi V.I., Plichko L.V., Malik T.M., Nikolaienko O.Ye., Pampukha I.V. Monitoring surface water status using an integrated indicator. Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Conference Proceedings of 13th International Scientific Conference/ 12–15 November 2019 EAGE. 1-5.

131. Zhu Z., Woodcock C.E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. 2012. 118, 83–94.

Наукове видання

**Плічко Людмила Володимирівна
Хільчевський Валентин Кирилович
Зацерковний Віталій Іванович**

**ОЦІНКА СТАНУ
ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ ДЗЗ**

Монографія

Оригінал-макет авторський
Обкладинка – Л.В. Плічко

Підписано до друку 10.03.2026 р. Формат 70-100/16
Папір офсетний
Умовн. друк. арк. 10,1

Видавництво «ДІА»
03022, Київ, вул. Васильківська, 45
Тел. (044) 257-16-15. E-mail: dia_1997@ukr.net
Свідоцтво про внесення до
Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ДК № 1149 від 12.12.2002 р.
Надруковано – друкарня ТОВ «ДІА»

ПЛІЧКО ЛЮДМИЛА ВОЛОДИМИРІВНА

доктор філософії з галузі знань «Природничі науки», асистент кафедри геоінформатики ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

ХІЛЬЧЕВСЬКИЙ ВАЛЕНТИН КИРИЛОВИЧ

доктор географічних наук, професор, відмінник освіти України, заслужений діяч науки і техніки України, почесний працівник гідрометслужби України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри гідрології та гідроекології географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

ЗАЦЕРКОВНИЙ ВІТАЛІЙ ІВАНОВИЧ

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геоінформатики ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка