

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Геоінформаційний аналіз впливу глобального потепління на
Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ»

Виконав: студент 4 курсу, групи ГІСТ-20

напряму підготовки (спеціальності)

193 “Геодезія та землеустрій”

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Перебойчук Н.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Нестеренко О.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Плющ Т. М.

(прізвище та ініціали)

Київ – 2024 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: геоінформатики і фотограмметрії

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Напрямок підготовки 193 “Геодезія та землеустрій”

(шифр і назва)

Освітня програма “Геоінформаційні системи і технології”

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри проф.
Карпінський Ю.О.

(підпис)

«22» лютого 2024 року

ЗАВДАННЯ **НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ** Перебойчуку Назарію Аркадійовичу (прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема проєкту (роботи):

Геоінформаційний аналіз впливу глобального потепління на Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ

Керівник проєкту (роботи): доц., к. т. н. Нестеренко Олена Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“25” квітня 2024 року № 712/3

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) : «16» травня 2024 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) : супутникові знімки Landsat 7 та Landsat 8

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

- 1.1. Глобальне потепління: поняття, причини, нормативно-правова база
- 1.2. Вплив змін клімату на гірські ландшафти
- 1.3. Загальні методи аналізу впливу кліматичних змін на ландшафти

РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

- 2.1. Фізико-географічна характеристика Чорногірського масиву Карпат
- 2.2. Підбір вихідних даних дистанційного зондування Землі
- 2.3. Технологічна схема виконання робіт з матеріалами ДЗЗ

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

- 3.1. Аналіз багаторічної динаміки ландшафтів за даними ДЗЗ
- 3.2. Картографування та моделювання змін ландшафтів під впливом потепління
- 3.3. Оцінка впливу кліматичних змін на сніговий покрив

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

- 4.1. Аналіз існуючих природоохоронних територій
- 4.2. Обґрунтування створення нових природоохоронних об'єктів
- 4.3. Перспективи оптимізації природокористування в умовах змін клімату

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу - 16 слайдів презентації
6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання : 20.02.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Проект завдання дипломної роботи	22.02.2024	
2.	ВСТУП	19.03.2024	
3.	РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ	19.03.2024	
4.	РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	16.04.2024	
5.	РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	02.05.2024	
6.	РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	14.05.2024	
7.	Висновки	14.05.2024	
8.	Розробка графічного матеріалу	20.05.2024	
9.	Подача проєкту на попередній захистта рецензування	24.05.2024	

Студент: Перебойчук Н.А.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник проєкту (роботи): _____

(підпис)

Нестеренко О.В.

(прізвище та ініціали)

3MICT

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ	10
1.1. Глобальне потепління: поняття, причини, нормативно-правова база.....	11
1.2. Вплив змін клімату на гірські ландшафти	14
1.3. Загальні методи аналізу впливу кліматичних змін на ландшафти	15
РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	19
2.1. Фізико-географічна характеристика Чорногірського масиву Карпат	20
2.3. Технологічна схема виконання робіт з матеріалами ДЗЗ	27
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	29
3.1. Аналіз багаторічної динаміки ландшафтів за даними ДЗЗ	30
3.2. Картографування та моделювання змін ландшафтів під впливом потепління	37
3.3. Оцінка впливу кліматичних змін на сніговий покрив.....	39
РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	44
4.1. Аналіз існуючих природоохоронних територій	45
4.2. Обґрунтування створення нових природоохоронних об'єктів	46
4.3. Перспективи оптимізації природокористування в умовах змін клімату ..	48
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	53
ДОДАТКИ	57

ВСТУП

Зміни клімату у гірських ландшафтах все частіше викликають потребу створення запобіжних заходів, щодо збереження екосистеми. Глобальне потепління стає чинником природних змін тривалості снігового покриву, зникнення видів рослин або тварин, загального біорізноманіття гір та погіршення стану гідрологічних ресурсів.

Геоінформаційний аналіз впливу глобального потепління на Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ є актуальним і важливим елементом моніторингу стану заповідників та відстеження проблем, які там є. Вивчення стану Чорногірського масиву, зокрема тривалості збереження снігового покриву, дозволить відслідкувати вплив кліматичних змін на біорізноманіття, достатнє забезпечення прісної води, зволоженість ґрунтів та інші зміни. Територія дослідження є частиною об'єкту, що внесено до списку ЮНЕСКО та потребує, систематичного аналізу та моніторингу.

Застосування методу дистанційного зондування Землі є ефективним рішенням для гірських ландшафтів, які є важкодоступними для вивчення на місцевості. Архів супутникових знімків та достатня роздільна здатність, для оцінки впливу, дозволяє проводити аналіз динаміки змін у роках у екосистемах, надаючи важливу інформацію для прийняття рішень щодо збереження та управління природними ресурсами.

Мета роботи – провести геоінформаційний аналіз впливу глобального потепління на Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ. Оцінити вплив кліматичних змін на сніговий покрив масиву.

Об'єкт даного дослідження – гірська місцевість Чорногірського масиву Карпат.

Предмет дослідження – аналіз впливу глобального потепління в динаміці років на сніговий покрив масиву.

Завданнями цього проєкту є:

- дослідження процесу глобального потепління, його вплив на гірські

ландшафти;

- визначення методів проведення геоінформаційного аналізу впливу кліматичних змін;

- пошук та завантаження вихідних даних супутникових знімків;

- визначення індексу NDSI у динаміці років;

- створення тематичних карт;

- застосування оверлейних функцій для оцінки впливу глобального потепління;

- розробка пропозиції, щодо створення нових природоохороних територій.

Вихідними даними для проєкту будуть 4 супутникові знімки Landsat 7 та 13 знімків Landsat 8 на територію Черногірського масиву Карпат.

**РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

1.1. Глобальне потепління: поняття, причини, нормативно-правова база

Зміна клімату, тобто підвищення глобальної температури поверхні Землі, є однією з проблем планетарного масштабу з тривожними прогнозами, що викликає підвищений інтерес протягом останніх десятиліть [4].

Глобальне потепління – це спостережуване або прогнозоване підвищення середньої температури поверхні, що являє собою середньозважену по площі:

- 1) температуру поверхні океану, тобто підповерхневу середньомасову температуру океану на глибині декількох метрів;
- 2) поверхневу температуру повітря на суші на висоті 1,5 м над рівнем ґрунту.

Для визначення температури поверхні Землі сьогодні використовують висотні вишки з вхідними отворами для забору повітря на висоті 30; 120 і 300 м над рівнем землі з метою спостереження вертикального градієнту CO₂ в пограничному шарі [4].

Виявлені тенденції з підвищення концентрації CO₂ в атмосфері та зростання глобальної температури стали предметом ініціатив з аналізу клімату. Внаслідок цього з'явилися численні публікації в ЗМІ та наукових виданнях, що розкривають невідворотні наслідки для планети та її окремих регіонів, серед яких [4]:

- Збільшення рівня світового океану внаслідок танення льодовиків, що може призвести до затоплення низинних територій прибережних і острівних країн, а також до підвищення кислотності океанів.
- Порушення біологічної різноманітності: деякі види тварин і рослин не зможуть пристосуватися до нових умов і можуть зникнути, що в свою чергу може призвести до зниження врожайності деяких сільськогосподарських культур.
- Нестача питної води, міграція комах та, як наслідок, поширення

епідемії (таких як лихоманка, малярія).

– Ускладнення доступу до водних і продовольчих ресурсів, що може призвести до загострення міжнародних відносин.

– Збільшення витрат енергії на кондиціонування будівель та приміщень у містах.

Сучасний погляд на глобальне потепління зводиться до таких положень:

1) основна причина глобального потепління – монотонне зростання концентрації парникових газів (в основному вуглекислого газу) в атмосфері Землі [4].;

2) тренд підвищення концентрації парникових газів визначається збільшенням їх антропогенної емісії при спалюванні вуглеводневих енергоресурсів;

3) глобальне потепління загрожує негативними наслідками для навколишнього середовища і економіки;

4) необхідно вдосконалювати політику скорочення антропогенної емісії парникових газів.

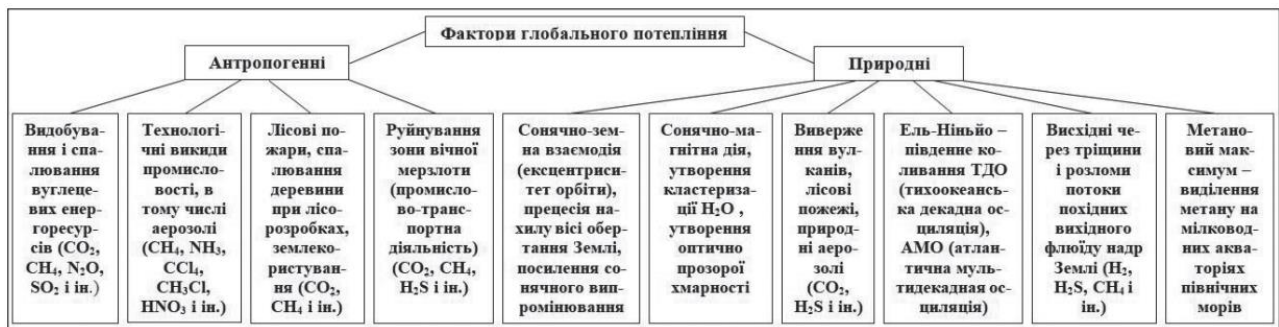


Рис. 1. Основні причини глобального потепління [4]

В умовах необхідності збереження життя на планеті глобальний характер проблеми регулювання викидів парникових газів сприяє розширенню державних кордонів. Міжнародно-правовий альянс у сфері інвентаризації парникових газів, його роль та функції у суспільному житті посідають окреме важливе місце. Правове регулювання цього явища у світовому масштабі призвело до створення дієвих механізмів задля зменшення антропогенних вики-

дів парникових газів в атмосферу [5].

Міжнародна спільнота висловила занепокоєння щодо цієї проблеми, що послужило підґрунтям для проведення в 1992 році Конференції ООН з навколишнього середовища й розвитку у місті Ріо-де-Жанейро. Результати цієї конференції відобразилися у Рамковій Конвенції ООН про зміну клімату. Спеціально для підготовки до укладення цієї конвенції Генеральна Асамблея ООН 11 грудня 1990 року створила Міжурядовий комітет з ведення переговорів. Протягом двох років цей комітет провів п'ять сесій, в яких взяли участь понад 150 держав [5].

Мета даної Конвенції, яка визначена у ст. 2 цього документу, полягає у стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері на такому рівні, який не допускає би небезпечного антропогенного впливу на кліматичну систему планети. Такий рівень має бути досягнутий у строки, необхідні для природної адаптації екосистем до зміни клімату, що дасть можливість не ставити під загрозу виробництво і сприятиме забезпеченню подальшого економічного сталого розвитку [18].

Україна ратифікувала Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату з 29 жовтня 1996 року. Ця конвенція створила глобальний механізм співробітництва, який включає систему моніторингу та звітування щодо національних викидів парникових газів.

Законом України від 01.07.2015 р. № 562-VIII ратифіковано Протокол про стратегічну оцінку до Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті від 21.05.2003 р. № 995_b99, яким серед іншого передбачено використання стратегічної екологічної оцінки при прийнятті планів, програм, законодавства; доступ до відповідної інформації та участь громадськості у процесі прийняття рішень, зміцнення міжнародного співробітництва шляхом проведення оцінки транскордонних екологічних наслідків діяльності тощо [1].

З 30 листопада по 12 грудня 2015 р. в Парижі пройшла 21 Конференція

Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, в якій взяли участь 196 країн світу, де було прийнято глобальну угоду, яка спрямована на протидію зміні клімату на 2021–2030 рр., яка має назву Паризька угода [5].

Україна приєдналася до Паризької угоди про зміну клімату, підписавши її 22 квітня 2016 року та ратифікувавши 14 липня 2016 року. Цей міжнародно-правовий документ отримав підтримку від 175 держав, у тому числі США та Китаю. Паризька угода про зміни клімату набула чинності з 1 січня 2021 року.

Незважаючи на активну співпрацю з ЄС та адаптацію законодавства до європейських стандартів, і хоча Україна зобов'язана впроваджувати заходи зі скорочення впливу на довкілля, реальність свідчить про інше. Відповідно до Паризької угоди, Україна зобов'язалася не перевищувати до 2030 року 60% рівня викидів, який був у 1990 році. Однак цей рівень викидів зараз вже використовується в промисловості. Таким чином, Україна не здійснює жодних стратегічних кроків у зменшенні обсягів викидів парникових газів, що має негативний вплив на стан екосистеми.

1.2. Вплив змін клімату на гірські ландшафти

На кліматичні умови в горах впливає не лише висота місцевості над рівнем моря, алей орографічні умови – висота і напрям гірських хребтів, експозиція схилів відносно розподілу світла і переважаючих вітрів, ширина долин і кривизна поверхні. Затримуючи перенос мас холодного чи теплого повітря, гори створюють більш чи менш різкі шари в розподілі температури у великому географічному масштабі. Над горами виникають рухи повітряних течій і особливі форми хмар. Над нагрітими схилами гір також посилюється конвекція і як наслідок – хмароутворення [8].

Основні ризики гірських районів пов'язані зі збільшенням інтенсивності екстремальних погодних явищ, зміною режиму випадання опадів та таненням льодовиків. Практично у всіх гірських країнах світу спостерігається зниження тривалості періоду, протягом якого там лежить сніговий покрив, та скорочення льодовикових систем. Льодовики обох півкуль нині тануть

швидше, ніж за останні 10000 років. У багатьох регіонах світу саме сніг та лід забезпечують людей водними ресурсами, що дозволяють займатися сільським господарством [6].

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), від 60 до 80 % водних ресурсів планети забезпечують саме гірські системи. За деякими оцінками, через танення льодовиків 700 мільйонів людей зіштовхнуться із водною кризою до 2100 року. Незабаром Перу, Пакистан, Індія, Непал, Китай та інші країни можуть постраждати від гострої нестачі водних ресурсів. За останні 10 років розтануло майже 30 % маси льодовиків, які живлять Таджикистан.

Розглянемо вплив глобального потепління на гірські масиви, на прикладі Кордильєр Північної Америки. Потепління в горах, викликає зменшення площі снігового покриву, підвищення частоти та інтенсивності зимових повеней і зменшення річного стоку, що загострюють конкуренцію за дефіцитні водні ресурси [3].

Зміна помірного клімату в перші десятиліття століття призведе до підвищення сукупної продукції незрошувального землеробства на 5-20%, однак при цьому між регіонами буде спостерігатися значна різниця. Серйозні проблеми очікуються для культур, які вже наблизилися до теплової межі своєї придатної області поширення або залежать від інтенсивно використовуваних водних ресурсів.

1.3. Загальні методи аналізу впливу кліматичних змін на ландшафти

Аналіз впливу кліматичних змін на ландшафти здійснюється за допомогою різних методів, які можуть бути розділені на кілька основних категорій:

1) Супутникові спостереження та дистанційне зондування:

– Використання супутникових знімків для моніторингу змін у ландшафті, таких як танення льодовиків, зміни рослинного покриву та ерозія

грунтів.

- Дистанційне зондування дозволяє отримувати дані про великі території, що недоступні для наземного спостереження.

2) Моделювання та прогнозування:

- Кліматичні моделі: Використовуються для прогнозування майбутніх змін клімату на основі різних сценаріїв викидів парникових газів.

- Гідрологічні моделі: Оцінюють зміни у водному балансі, включаючи потоки річок, рівень ґрунтових вод та стан водосховищ.

- Екологічні моделі: Аналізують вплив змін клімату на екосистеми та біорізноманіття.

3) Геоінформаційні системи (ГІС):

- Застосування ГІС для аналізу просторових даних та моделювання змін у ландшафтах.

- ГІС допомагає інтегрувати різні види даних (наприклад, кліматичні, топографічні, ґрунтові) для комплексного аналізу.

4) Польові дослідження:

- Проведення експедицій та польових робіт для збору даних про поточний стан ландшафтів.

- Вимірювання таких показників, як температура ґрунту, вологість, біорізноманіття та стан рослинного покриву.

5) Аналіз історичних даних:

- Вивчення архівних кліматичних даних, карт, фотографій та іншої документації для виявлення минулих змін у ландшафтах.

- Порівняння історичних даних з сучасними спостереженнями для розуміння довготривалих тенденцій.

6) Біоіндикатори:

- Використання певних видів рослин і тварин, чутливих до змін кліматичних умов, як індикаторів змін у ландшафтах.

- Моніторинг популяцій біоіндикаторів для оцінки екологічного

стану території.

7) Палеокліматичні дослідження:

- Аналіз відкладень, льодовикових кернів, деревних кілець та інших палеокліматичних записів для реконструкції минулих кліматичних умов.
- Вивчення палеокліматичних даних допомагає зрозуміти природні варіації клімату і їхній вплив на ландшафти.

8) Соціально-економічні аналізи:

- Оцінка впливу кліматичних змін на людські спільноти та їхню діяльність, включаючи землекористування, сільське господарство та інфраструктуру.
- Дослідження адаптаційних стратегій і впливу на місцеву економіку та суспільство.

У своїх роботах [10-13] науковці з різних країн застосовують метод дистанційного зондування з супутниковими знімками Landsat при дослідженні змін льодовиків на хребті Тянь-Шаню в Центральній Азії, Гімалаях Каракорум та Альпах. Застосування кластерної класифікації, індексів, що ідентифікують наявність води або снігу дозволяє проводити інвентаризацію льодовиків, уточнення їх стану на зараз, оцінку товщини льоду, масу та інших показників. Безумовно, льодовики впродовж років зменшуються, у зв'язку з явищем глобального потепління. Як і раніше зазначалось, льодовики критично важливі для гірських поселень, так як вони є мало не єдиним джерелом прісної питної води. Також льодовики є у теплий період року, меліораційною складовою забезпечення водою для збільшення та підтримки врожайних властивостей земель сільськогосподарського призначення.

Дистанційне зондування є надзвичайно ефективним методом для вивчення змін гірських ландшафтів завдяки своїм можливостям забезпечувати точні, масштабні та регулярні дані. Гірські регіони часто важкодоступні через круті схили, відсутність доріг та нестабільні погодні умови, що ускладнює проведення наземних досліджень. Супутникові системи покривають великі території, збираючи дані незалежно від географічної доступності. Це дозволяє

отримувати інформацію про важкодоступні місцевості, що є критично важливим для моніторингу змін у високогірних та ізольованих регіонах.

Сучасні супутники оснащені сенсорами з високою просторовою роздільною здатністю, що дозволяє детально картографувати гірські ландшафти. Високоточні зображення допомагають виявляти навіть дрібні зміни в рельєфі, рослинному покриві та льодовикових структурах. Дані, отримані за допомогою супутникових сенсорів, мають високу точність завдяки регулярному калібруванню та вдосконаленню технологій зондування.

Супутники оснащені мультиспектральними сенсорами, які можуть одночасно збирати дані в різних спектральних діапазонах (видимий, інфрачервоний, радіохвильовий). Це дозволяє вивчати різні характеристики ландшафтів, такі як типи рослинності, наявність снігу, льоду, води, температурні режими та інші екологічні параметри. Крім того, регулярне оновлення даних супутниками дозволяє проводити багатотемпоральний аналіз, відстежуючи динаміку змін у гірських ландшафтах, такі як сезонні коливання, довгострокові тенденції, такі як глобальне потепління.

Отже, дистанційне зондування є незамінним інструментом для вивчення змін гірських ландшафтів, оскільки воно забезпечує доступ до широкомасштабних, високоточних та регулярних даних. Це дозволяє ефективно моніторити та аналізувати динаміку змін у цих складних екосистемах, надаючи важливу інформацію для прийняття рішень щодо збереження та управління природними ресурсами.

РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Фізико-географічна характеристика Черногірського масиву Карпат

Черногірський масив розташований у західній частині України на межі 3 областей: Закарпатської, Івано-Франківської та Чернівецької, а також є найвищим гірським масивом Українських Карпат. Геологічно Черногора складається з твердого пісковика, флішу, з вкладками маловідпирних лупаків (сланців). Подекуди є виходи вулканічних порід. Поширені кам'яні осипища [19].

Значна частина Черногори служить вододілом між Прутом і Тисою (багато віків це був одночасно кордон держав, до яких належали Галичина і Закарпаття). Західна частина з вершиною Петрос (2020 м) лежить на Закарпатті — в сточищі Тиси, східна частина тягнеться на південний схід і південь. Обидві частини Черногори відокремлені глибокою міжгірною сідловиною — Полониною Скопеською (висота до 1550 м). Західна частина порізьблена (відносні висоти — 300 м); східна — монотонний і масивний хребет, вершини високі, понад 1900 м, а то й 2000 м (Говерла — 2061 м, в іншій системі координат — 2058 м), Менчул — 1998 м, Гутин Томнатик — 2016 м, Піп Іван Черногірський — 2022 м), сідловини не сходять нижче 1750 м [19].

Узбіччя Черногірського масиву в основному покриті лісами. На північних схилах, особливо в долинних регіонах, часто зустрічається бук, який росте до висоти 1300 м, а вище нього — смерека, яка може досягати висоти до 1600 м. На південних схилах домінує бук, який переважно визначає верхню межу лісу.

Місцеве населення переважно становить субетнос гуцулів. Заселені найнижчі частини Черногори — на Закарпатті в долинах Чорної (Ясіня) і Білої Тиси (Богдан), на півночі найближчі до хребта села Бистрець і Дземброня. Рілля займає лише 0,5 % всієї площі, ліси близько 70 %, сіножаті 5 %, полонини і пасовища 22 %.

У Чорногірському масиві можна виділити три рослинні висотні пояси: гірськолісовий, субальпійський та альпійський. Перший з них поширений у середньогір'ї, два інші — у високогір'ї.

Флора Чорногірського масиву багата й різноманітна. Загалом тут нараховують 727 видів, у тім числі охороняють 30 видів флори, які занесені у Червону книгу України і три види до Європейського Червоного списку. Різноманіття флори зумовлено складним процесом її історичного розвитку, висотною диференціацією, наявністю різних геологічних порід, на яких формуються численні відміни лісових та альпійських ґрунтів [19].

Головний хребет простягається уздовж приблизно на 40 км між долинами річок Чорної Тиси на заході і Чорного Черемоша на сході.

Середні річні температури повітря змінюються від 7-10 °С на рівнинах до 5°С в низькогір'ях, від 3 °С в середньогір'ях до 0,6 °С у верхньому ярусі гір. На вершинах Свидовця і Чорногори вона близька до 0 °С [2]. З підняттям угору на кожні 100 м температура знижується на 0,4 °С. На висоті 1200 м (Турбат) середня температура січня -7,9 °С , на Свидовці і Чорногорі -12 °С.

Перший сніг на Чорногірському масиві з'являється під кінець листопада. Найбільша потужність снігового покриву в кінці лютого - на початку березня: 70-90 см на північно-східному схилі і до 300 см на південно-західному.

Інтенсивне танення снігу відбувається в квітні [7]. Повністю сніг сходить в поясі гір висотою 1000-1500 м - у першій декаді травня, вище - в середині травня. Тривалість стійкого снігового покриву в горах - 3-4 місяці. На великих висотах сніг може випадати і влітку.

2.2. Підбір вихідних даних дистанційного зондування Землі

Для дослідження змін та аналізу тенденції впливу глобального потепління на ландшафти Чорногірського масиву було обрано систему супутників Landsat. Це дозволить взяти дані починаючи з 2000 року та до 2024 року.

USGS Earth Explorer — це онлайн-інструмент, розроблений Геологічною службою США (USGS), який надає доступ до великої кількості супутникових зображень та інших типів дистанційного зондування Землі. Цей портал дозволяє користувачам шукати, переглядати та завантажувати дані з різних джерел, включаючи супутники, літальні апарати та наземні датчики. Earth Explorer є надзвичайно корисним інструментом для науковців, дослідників, планувальників і всіх, хто займається аналізом геопросторових даних [24].

Програми супутників дистанційного зондування Землі Landsat є спільним проєктом NASA та Геологічною службою США, саме тому такі дані на онлайн-інструменті Earth Explorer є безкоштовними для наукових досліджень.

USGS Earth Explorer надає доступ до архіву зображень, зібраних усіма супутниками Landsat (від Landsat 1 до Landsat 9).

Користувачі можуть шукати зображення за датою, місцем розташування та іншими параметрами, переглядати зображення у різних спектральних діапазонах і завантажувати їх для подальшого аналізу.

Під час підбору вихідних даних необхідно визначити точне геопросторове положення Чорногірського масиву. У джерелі[19] та на офіційному сайті USGS Earth Explorer вкажемо полігоном зону інтересу.

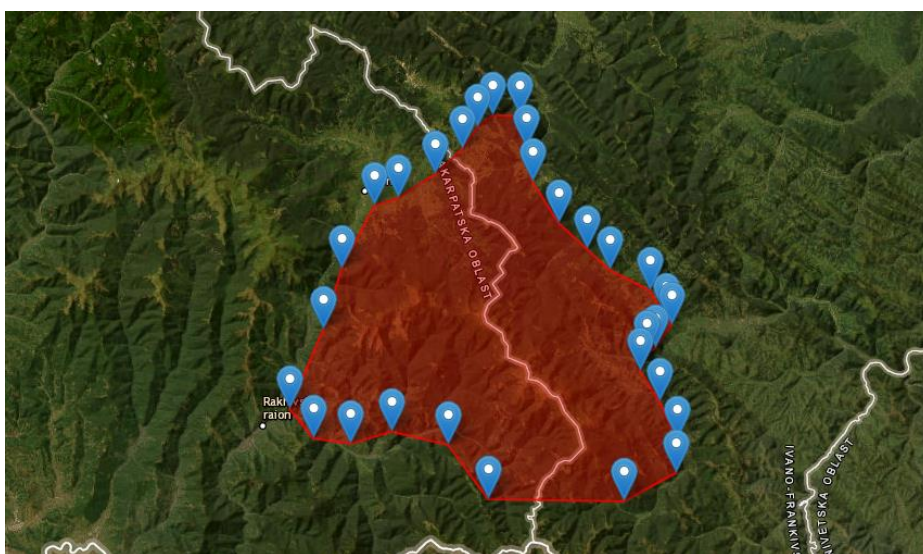


Рис. 2.1. Чорногірський масив вказаний полігоном

У дослідженні буде використано знімки за різні періоди стану снігового

покриву на вершинах гір. Здебільшого будуть використані знімки отримані в березні, коли сніговий покрив є найбільш стабільним, у середині квітня – коли вже присутнє танення та стан на середину травня. Таким чином візьмемо періодичні знімки від 2000 року до 2024 року у три різні етапи снігового покриву, та відслідкуємо яким чином змінювався сніговий покрив впродовж цих років, та як глобальне потепління вплинуло на цей процес.

У роботі будуть використані знімки супутників Landsat 7 та Landsat 8.

Landsat 7 — сьомий супутник програми Landsat . Основна мета Landsat 7, запущеного 15 квітня 1999 року, — оновити глобальний архів супутникових знімків, забезпечуючи актуальні та безхмарні зображення. Програмою Landsat керує та збирає та розповсюджує Геологічна служба США (USGS). Проект NASA WorldWind дозволяє вільно орієнтуватися та переглядати 3D-зображення з Landsat 7 та інших джерел під будь-яким кутом. Landsat 7 був побудований компанією Lockheed Martin Space Systems [20].

31 травня 2003 року коректор ліній сканування (Scan Line Corrector — SLC), який компенсує рух супутника по орбіті, вийшов з ладу. Подальші зусилля щодо відновлення SLC були неуспішними, тому похибка постійна. Без діючого коректора лінія сканування земної поверхні виходить з зигзагоподібним малюнком спотворення даних.

Як результат, зображена область дублюється з шириною, яка збільшується до краю сцени [20]. Коли обробляються дані першого рівня обробки, задубльовані ділянки видаляються, залишаючи прогалини в даних. Хоча на цих сценах залишається лише 78 відсотків їх пікселів після видалення задубльованих областей, ці дані все ще є одними з найбільш геометрично та радіометрично точних серед усіх цивільних супутникових даних у світі.

Landsat 8 — американський супутник спостереження Землі, запущений 11 лютого 2013 року. Це восьмий супутник у програмі Landsat ; сьомий, який успішно вийшов на орбіту. Спочатку вона називалася Landsat Data Continuity Mission (LDCM) і є результатом співпраці між NASA та Геологічною службою США (USGS). Центр космічних польотів NASA Goddard у Грінбелті, штат

Меріленд, забезпечив розробку, проектування систем місії та придбання ракетно-носія, тоді як USGS забезпечив розробку наземних систем і здійснюватиме поточні операції місії. Він складається з мультиспектрального сенсору Operational Land Imager (OLI) і теплового інфрачервоного датчика (TIRS), який можна використовувати для вивчення температури поверхні Землі та глобального потепління [21]. Протягом перших 108 днів на орбіті LDCM пройшов перевірку та перевірку NASA, а 30 травня 2013 року операції були передані з NASA до USGS, коли LDCM було офіційно перейменовано на Landsat 8.

Розглянемо детальніше їх технічні характеристики та характеристики знімків, що вони здатні видавати у таблицях 2.1-2.4

Таблиця 2.1

Характеристика супутника Landsat 7

Назва	Властивості/ характеристики
Тип місії	Супутникові знімки
Оператор	NASA/USGS
Тривалість місії	5 років (заплановано), 25 років (у експлуатації)
Властивості космічного корабля	
Платформа	TIROS-N
Виробник	Lockheed Martin Space Systems
Маса	1973 кг
Розміри	4.04 x 2.74
Потужність	1550 Вт
Сенсор	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)
Початок місії	
Дата запуску	15 квітня 1999, 18:32:00 UTC
Ракета	Delta II 7920
Майданчик запуску	Vandenberg, SLC-2W
Підрядник	Boeing
Початок діяльності	1999 рік
Параметри орбіти	
Системи відліку	Геоцентрична орбіта
Режим	Сонце-синхронна орбіта
Висота	705 км
Нахил	98,21°
Період	98,83 хвилини
Інтервал повторення	16 днів

Характеристика каналів сенсору ETM+

Назва каналу	Довжина хвиль	Геометрична здатність, м
Канал 1	0,452-0,514	30
Канал 2	0,519-0,601	30
Канал 3	0,631-0,692	30
Канал 4	0,772-0,898	30
Канал 5	1,547-1,748	30
Канал 6	10,31-12,36	60
Канал 7	2,065-2,346	30
Канал 8	0,515-0,896	15

Характеристика супутника Landsat 8

Назва	Властивості/ характеристики
Тип місії	Супутникові знімки
Оператор	NASA/USGS
Тривалість місії	5 років (заплановано), 11 років (у експлуатації)
Властивості космічного корабля	
Платформа	LEOSTar-3
Виробник	Orbital Sciences (основний), Ball Aerospace (OLI), NASA GSFC (TIRS)
Маса	1512 кг
Сенсор	Operational Land Imager (OLI) та Thermal InfraRed (TIRS)
Початок місії	
Дата запуску	11 лютого 2013, 18:02:00 UTC
Ракета	Atlas V 401 (AV-035)
Майданчик запуску	Vandenberg, SLC-3E
Підрядник	United Launch Alliance
Початок діяльності	30 травня 2013 рік
Параметри орбіти	
Системи відліку	Геоцентрична орбіта
Режим	Сонце-синхронна орбіта
Висота	705 км
Нахил	98,22°
Період	98,8 хвилини

Характеристика каналів сенсорів OLI та TIRS [15]

Назва каналу	Довжина хвиль	Геометрична здатність, м
Канал 1	0,433-0,453	30
Канал 2	0,450-0,515	30
Канал 3	0,525-0,600	30
Канал 4	0,630-0,680	30
Канал 5	0,845-0,885	30
Канал 6	1,560-1,660	30
Канал 7	2,100-2,300	30
Канал 8	0,500-0,680	15
Канал 9	1,360-1,390	30
Канал 10	10,30-11,30	100
Канал 11	11,50-12,50	100

Використання даних зі супутників Landsat 7 та 8 є ефективним для моніторингу змін гірських ландшафтів. Ці супутники забезпечують достатню просторову роздільну здатність і точність, що дозволяє детально аналізувати зміни снігового та рослинного покриву, ерозії та інші фізичні характеристики гірських ландшафтів. Мультиспектральні сенсори збирають дані в різних спектральних діапазонах, включаючи видимий, інфрачервоний та термічний, що дозволяє детально вивчати різні аспекти гірських ландшафтів. Тривалість сесій обох супутників дозволяє охопити більшу частину даних для проведення аналізу.

Глобальне покриття супутників Landsat дозволяє вивчати зміни у віддалених та важкодоступних гірських районах. Практичні приклади застосування даних включають моніторинг снігового покриву, де супутникові дані використовуються для відстеження змін у площі та об'ємі снігу, та вплив на тривалість його випадання та танення у зв'язку з глобальним потеплінням, аналіз зсувів та ерозії, а також моніторинг змін у рослинному покриві. Отже, дані з Landsat 7 та 8 є критично важливими для розуміння і реагування на зміни ландшафтів в гірських регіонах, забезпечуючи детальну та доступну інформацію для комплексного аналізу та прийняття безпекових рішень, щодо створення

нових природоохоронних територій та об'єктів.

2.3. Технологічна схема виконання робіт з матеріалами ДЗЗ

Технологічна схема (карта) - це основний документ технологічної документації, в якому плануються технологія виконання та обсяги робіт, засоби виконання і методи, необхідні для їх виконання. Тобто, загалом, там знаходяться відомості про здійснення технологічних процесів [9].

Технологічна схема виконання робіт з матеріалами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є ключовою для ефективного використання супутникових даних у різних наукових та практичних завданнях. Ця схема включає кілька важливих етапів, кожен з яких спрямований на забезпечення точності, надійності та ефективності досліджень.

На першому етапі планування та підготовки визначаються основні цілі дослідження, формуються питання, на які потрібно знайти відповіді за допомогою аналізу даних ДЗЗ, застосування відповідних індексів для отримання бажаної інформації та обираються відповідні джерела даних. Важливим аспектом цього етапу є розробка технічних вимог, які визначають необхідну просторову, спектральну, радіометричну та часову роздільну здатність даних. Наступним етапом є збір даних, що включає отримання супутникових зображень через спеціалізовані платформи, таку як USGS Earth Explorer.

Обробка даних є наступним кроком у технологічній схемі. На цьому етапі виконується класифікація зображень за допомогою алгоритмів індексів, що дозволяє визначити сніговий та земельний покрив та інші характеристики на основі спектральних властивостей. Аналіз змін, здійснюваний на основі часових рядів зображень, допомагає виявити та оцінити зміни у гірських ландшафтах. Векторизація, яка полягає у перетворенні растрів у векторні дані, дозволяє здійснювати подальший аналіз та інтеграцію з іншими ГІС-даними.

Аналіз та інтерпретація результатів включають геопросторовий аналіз за допомогою ГІС та проведення статистичного аналізу для виявлення тенденцій

та закономірностей. Візуалізація результатів здійснюється через створення карт та інших графічних матеріалів, що допомагають представити дані у зрозумілому вигляді. Останніми етапами є зберігання та накопичення даних, що забезпечує їх доступність для подальшого використання та аналізу, а також інтерпретація результатів для прийняття управлінських рішень або подальших наукових досліджень.

Технологічна схема виконання робіт щодо геопросторового аналізу впливу глобального потепління на Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ відображено на рисунку 2.2.

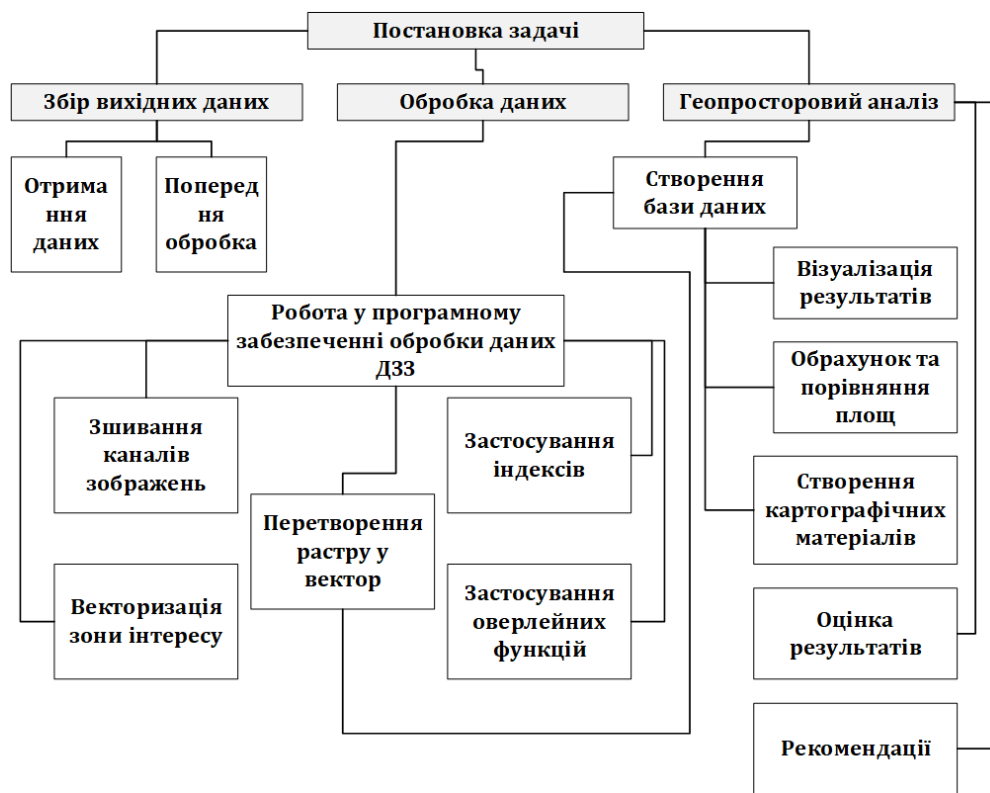


Рис. 2.2. Технологічна схема виконання робіт

Таким чином, технологічна схема виконання робіт з матеріалами ДЗЗ є структурованим підходом, що забезпечує ефективне та надійне використання супутникових даних. Вона сприяє систематизації процесу роботи з даними, допомагає досягти високої якості результатів та забезпечує можливість прийняття обґрунтованих рішень на основі отриманих даних. Ця схема є незамінною для дослідників, які прагнуть розуміти та реагувати на зміни, що відбуваються на нашій планеті, зокрема в умовах швидких кліматичних змін.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз багаторічної динаміки ландшафтів за даними ДЗЗ

Для проведення аналізу динаміки зміни ландшафтів вихідними даними буде в цьому дослідженні база даних з 17 знімків супутників Landsat-7 та Landsat-8 починаючи з 2000 року по 2024 рік. Враховуючи те, що після 31.05.2003 року знімки з Landsat-7 не є придатними для аналізу, тому наступні дані буде взято з проміжком близько 10 років.

Перелік знімків створеної бази даних розміщено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Перелік космічних зображень для формування часових серій даних

Супутник	Дата знімання
Landsat-7	02/05/2000
Landsat-7	24/03/2003
Landsat-7	04/05/2003
Landsat-7	27/05/2003
Landsat-8	14/03/2014
Landsat-8	30/03/2014
Landsat-8	03/03/2016
Landsat-8	31/03/2017
Landsat-8	03/06/2017
Landsat-8	08/04/2020
Landsat-8	12/03/2022
Landsat-8	13/04/2022
Landsat-8	24/03/2023
Landsat-8	02/05/2023
Landsat-8	10/03/2024
Landsat-8	10/04/2024
Landsat-8	04/05/2024

Обробка знімків буде відбуватися в програмі QGIS, яка має в собі інструменти обробки як даних ДЗЗ так і геоінформаційних. У програмному середовищі на місці виконаємо зшивання каналів та кадрів нашої зони інтересу, Чорногірського масиву Карпат.

Для визначення снігового покриття та в майбутньому обрахунку його площі буде застосовано нормалізований диференційний індекс снігового покриття (NDSI).

Сніговий покрив такий самий яскравий, як хмари, і це ускладнює його диференціювання від хмарного покриву. Однак при довжині хвилі 1,6 мм сніжний покрив поглинає сонячне світло, і з цієї причини він виглядає темнішим за хмари. Це дозволяє ефективно розрізняти хмари та сніговий покрив. Таким чином, зображення демонструє здатність відокремлювати хмари від снігу за допомогою спостережень цих довжинах хвиль [17].

NDSI – це міра відносної величини різниці відбивної здатності між видимою (зеленою) та короткохвильовою інфрачервоною (SWIR). Вона контролює дисперсію двох смуг (одна в ближній інфрачервоній або короткохвильовій області спектру інфрачервоної, а інша - у видимих частинах спектру). Сніг є не тільки дуже відбивним у видимих частинах електромагнітного спектру, але також має високу поглинаючу здатність у ближній інфрачервоній або короткохвильовій інфрачервоній частині спектру, в той час як велика відбивна здатність хмар залишається високою в тих же частинах спектру, це дозволяє хороший поділ більшості хмари та снігу.

Розрахувати індекс NDSI для знімків можливо за наступними формулами [14]:

Для Landsat 4-7, $NDSI = (Band\ 2 - Band\ 5) / (Band\ 2 + Band\ 5)$

Для Landsat 8-9, $NDSI = (Band\ 3 - Band\ 6) / (Band\ 3 + Band\ 6)$

Імовірність наявності снігу пропорційна наближенню значення пікселя NDSI до 1 (діапазон від -1 до 1).

Для визначення відповідності значення пікселя та снігу у цьому діапазоні використовується класифікаційна таблиця 3.2 [22].

Таблиця 3.2

Класифікаційна таблиця значень індексу NDSI

Значення NDSI	Інтерпретація
-1 – 0,06	Вільні від хмар
0,07-0,19	Хмари
0,20-0,35	Без снігу
0,36-0,42	Сніг
0,42-1,0	Стійкий сніговий покрив

Для зшивання каналів використовуємо інструмент «Результат об'єднання» у меню Растр (рис.3.1)

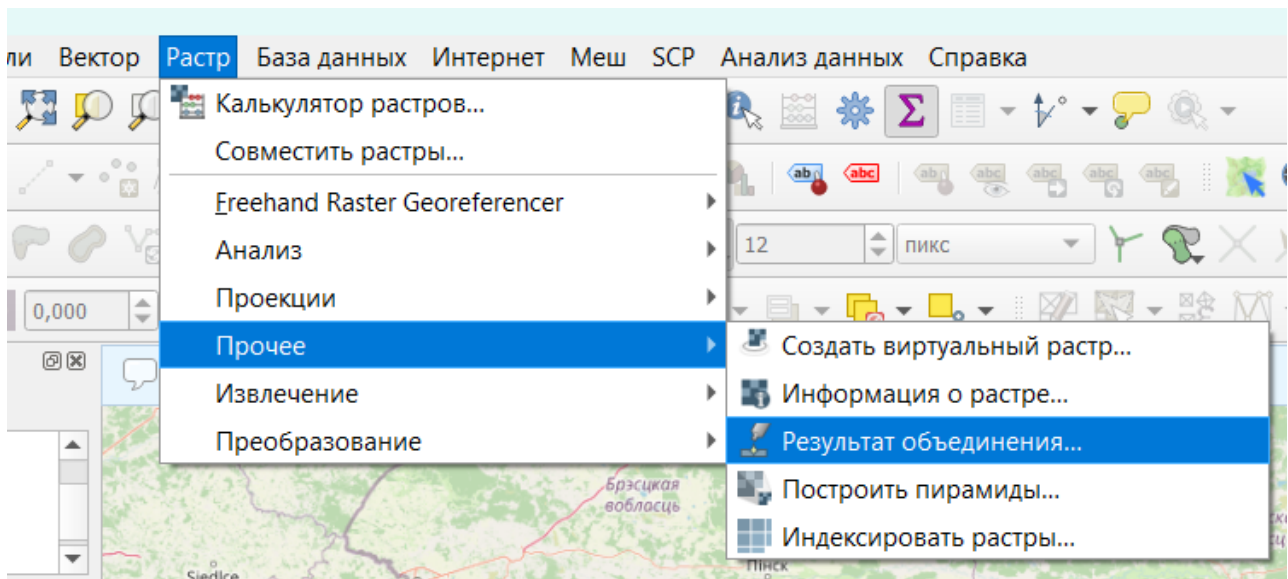


Рис. 3.1. Розташування інструменту Результат об'єднання

Із завантажених директорії знімків обираємо канали для зшивання, та обов'язково помічаємо «Помістити кожен вхідний файл в окремий канал».

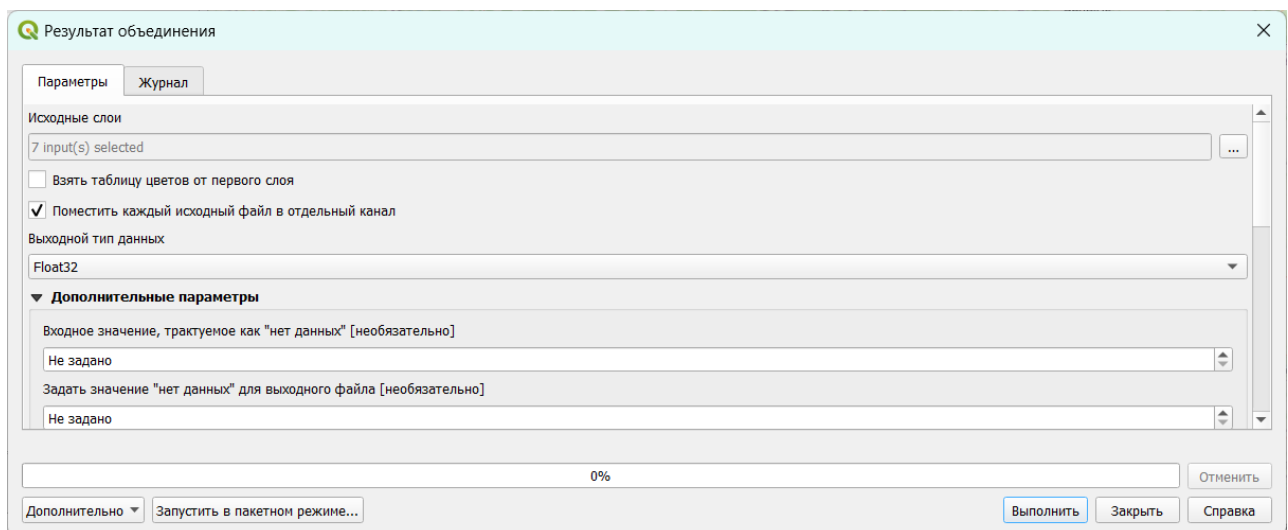


Рис. 3.2. Вікно інструменту Результат об'єднання

Після виконання об'єднання каналів буде створено один растровий шар із розширенням TIFF (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Результат зшивання каналів

Виконаємо кадрування по векторному шару Черногірського масиву Карпат, за допомогою інструменту «Обрізати растр по масці» (рис. 3.4).

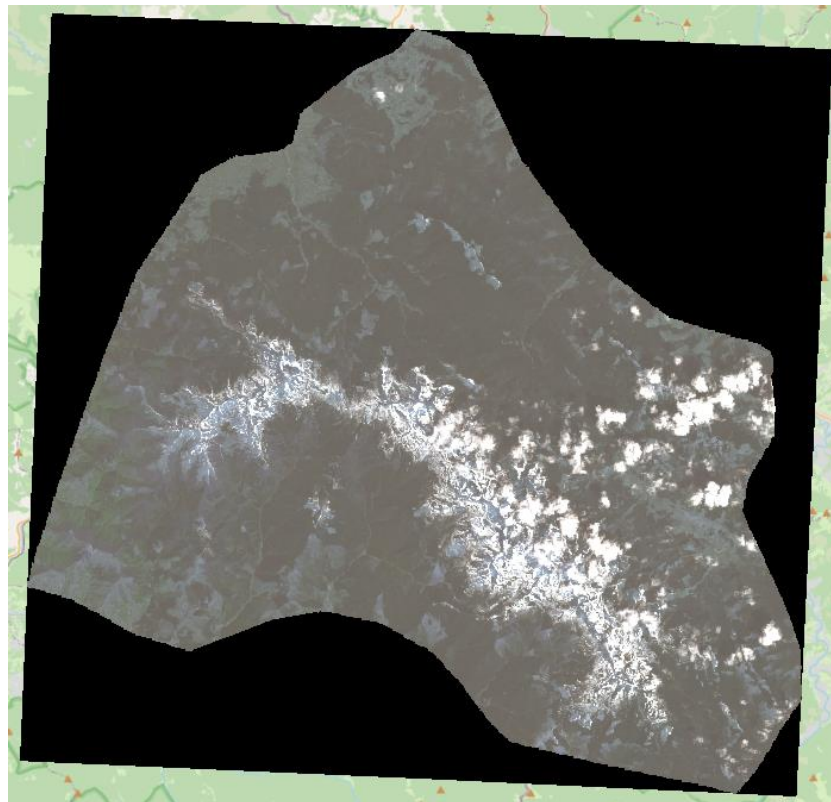


Рис. 3.4. Черногірський масив на зшитому знімку

Такі самі дії проведемо для всіх інших 16 знімків.

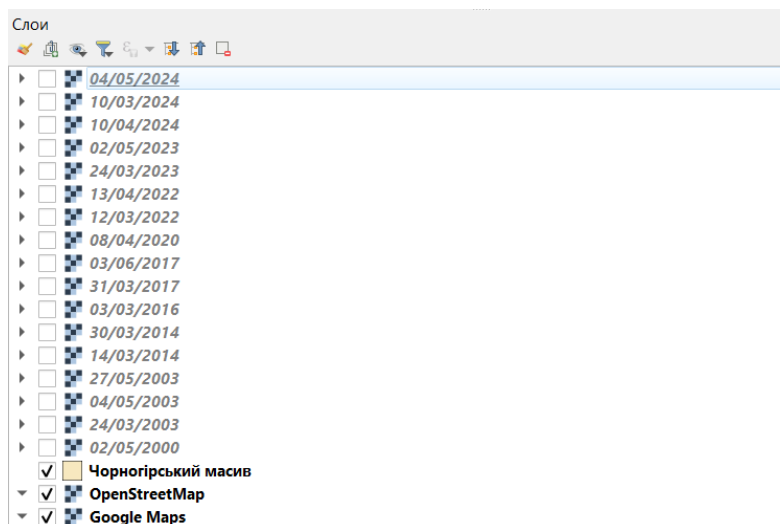


Рис. 3.5. Відображення в шарах створених 17 растрових шарів для кожного знімку

За допомогою інструменту Калькулятор растрів вкажемо формулу, що була наведена вище, для обрахунку індексу NDSI (рис.3.6).

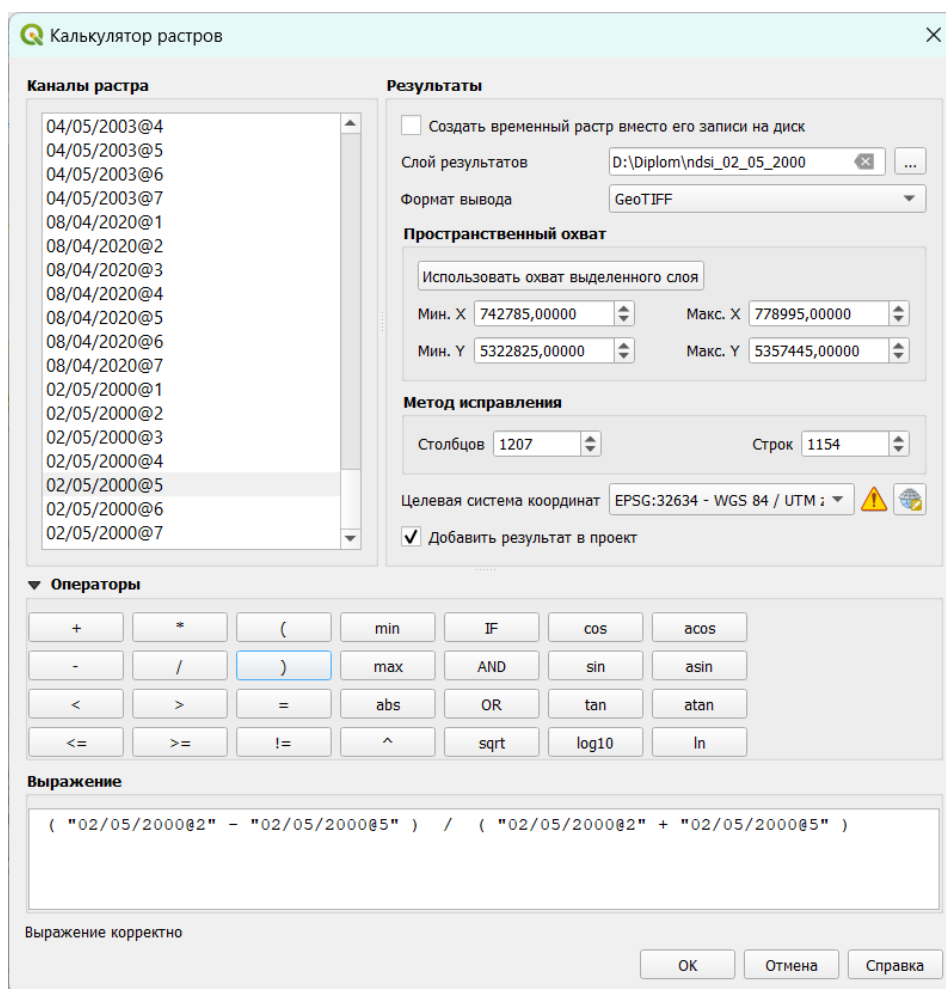


Рис. 3.6. Вікно інструменту Калькулятор растрів

У результаті отримаємо зображення індексу. Але так як відображення

налаштовано за замовчуванням у відтінках сірого, у стилях відображення сформуємо свій градієнт відображення за таблицею 3.2 (рис. 3.7).

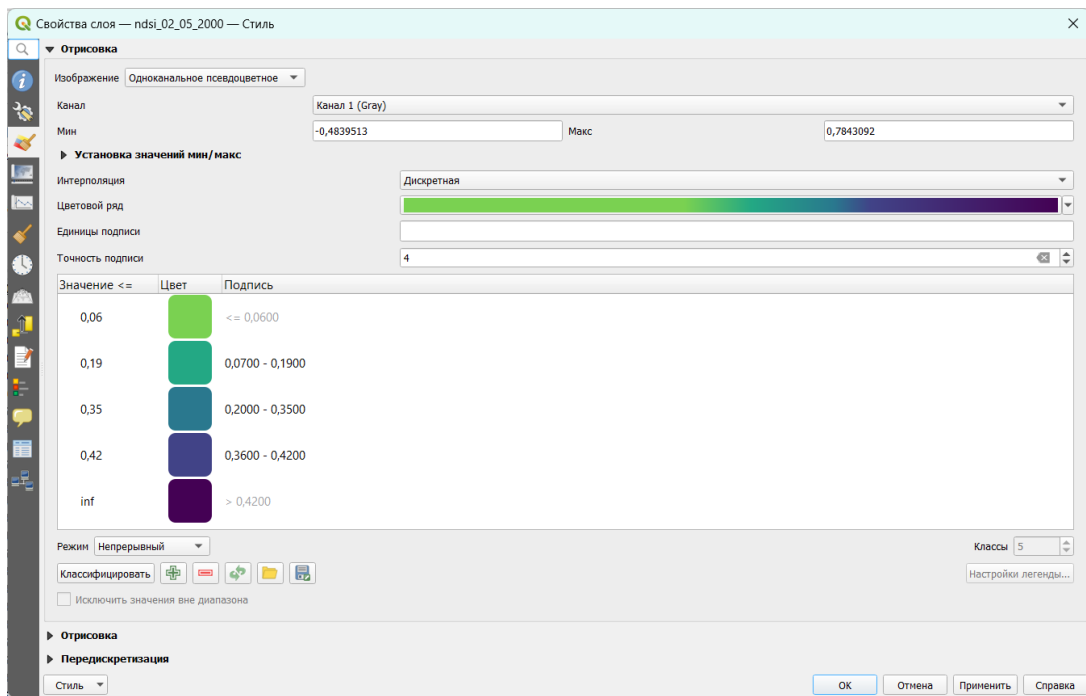


Рис. 3.7. Налаштування стилю відображення індексу

У результаті отримуємо зображення де чітко визначається сніг (рис. 3.8).

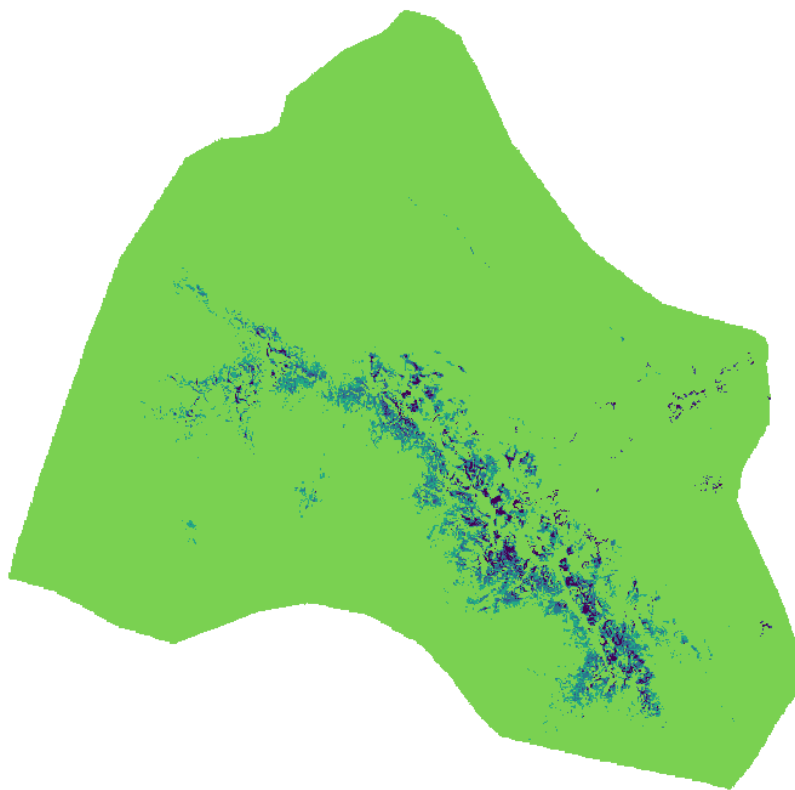


Рис. 3.8. Відображення обрахованого індексу NDSI для знімку за 02/05/2000 року

Такі самі операції проведемо для всіх інших зображень, але спершу поділимо їх на умовні 3 групи : за березень, за квітень та за травень. Відображення у динаміці років можна побачити на рисунках 3.9-3.11.

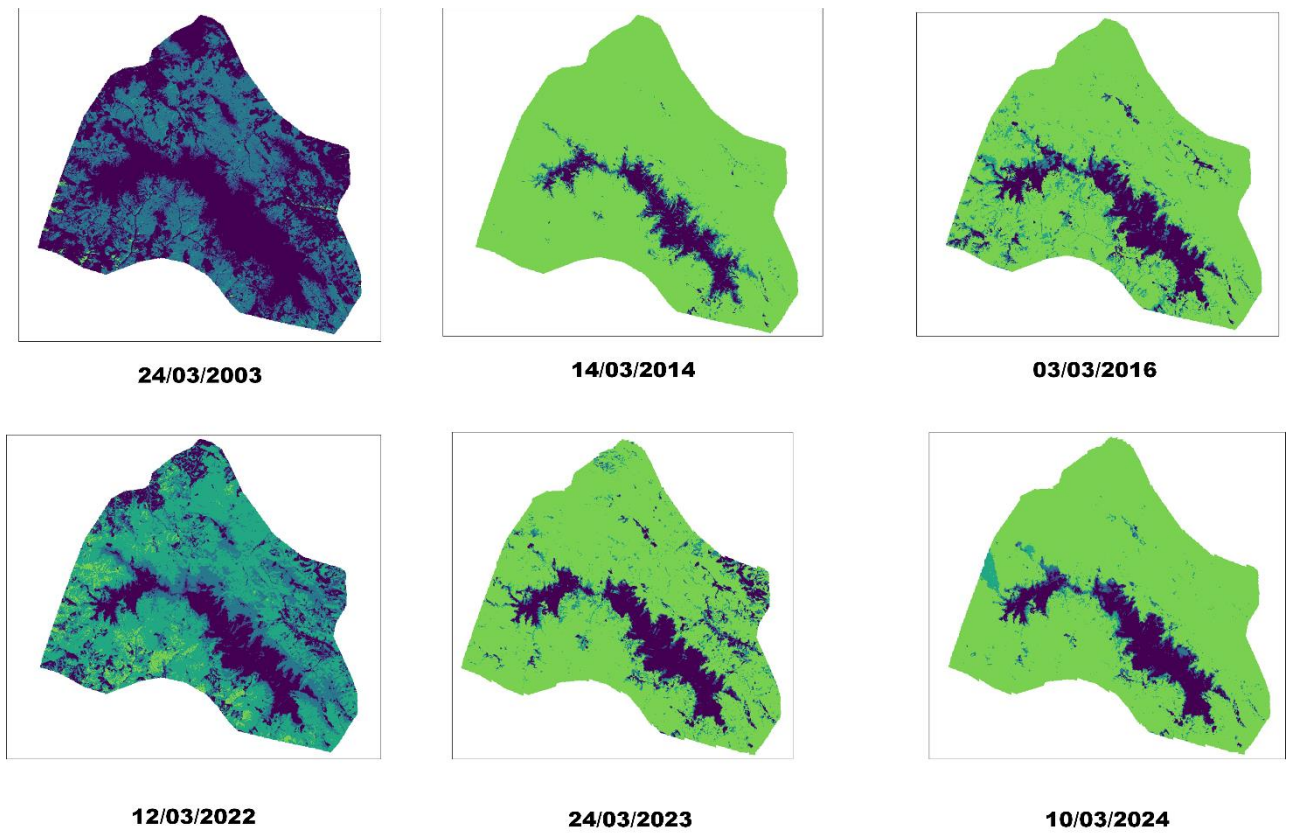


Рис. 3.9. Динаміка змін за 2003-2024 роки у березень місяць

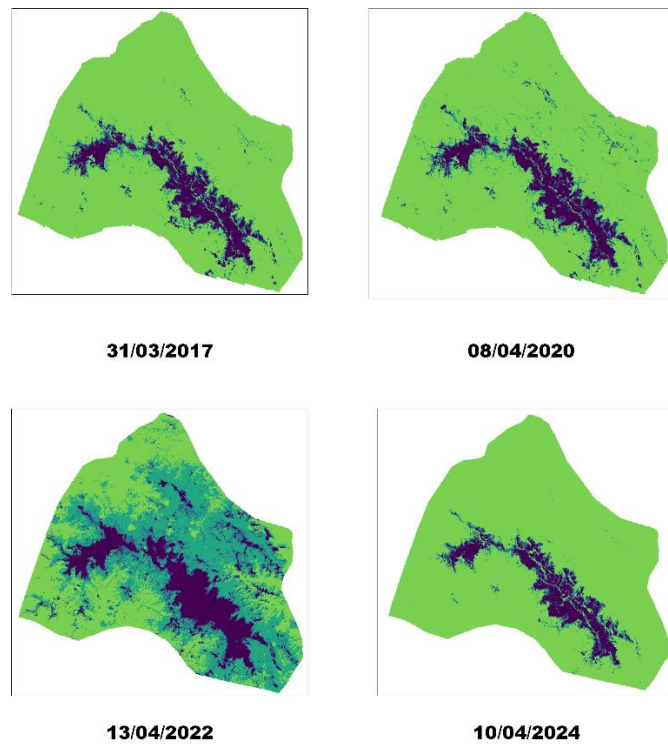


Рис. 3.10. Динаміка змін за 2017-2024 роки у квітень місяць

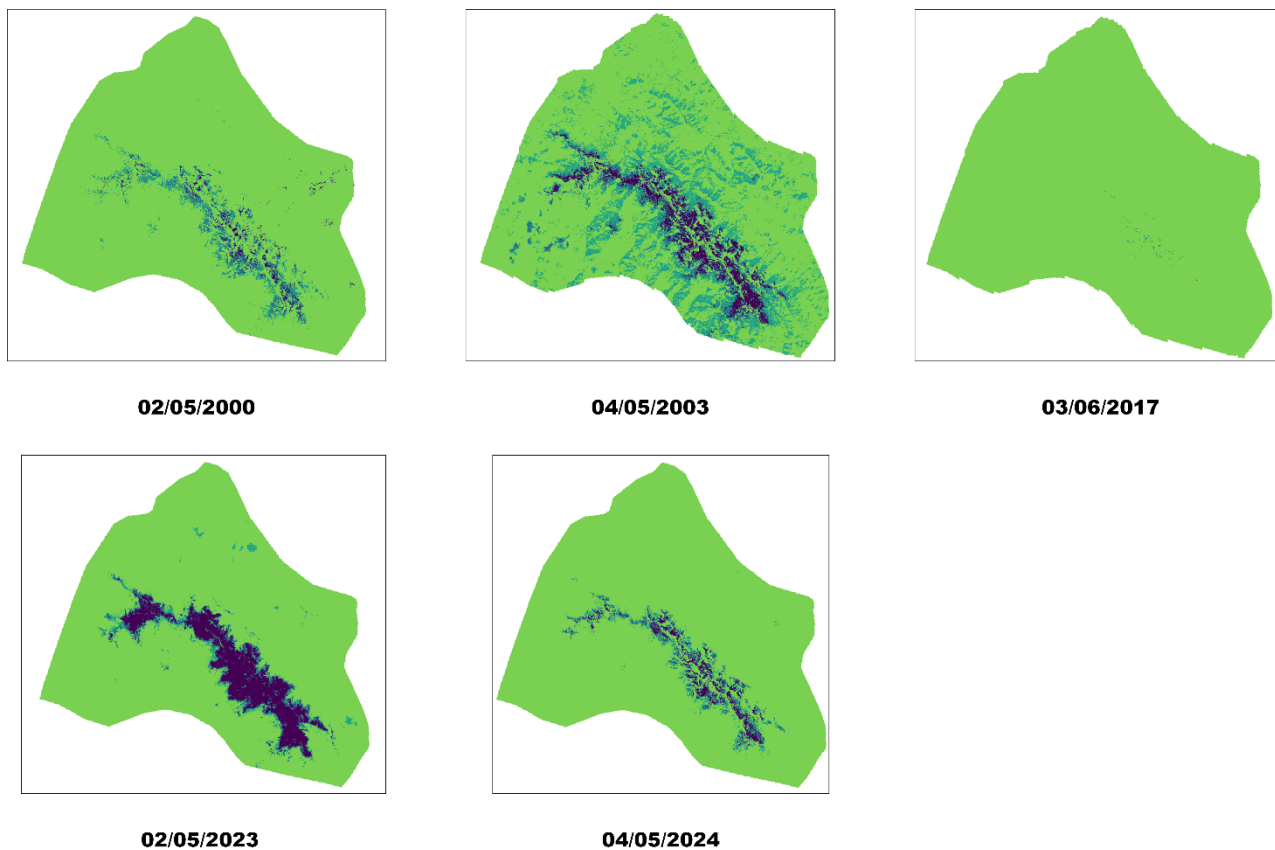


Рис. 3.11. Динаміка змін за 2000-2024 роки у травень місяць

Отже, найкраще помітно вплив глобального потепління у квітні та травні. Площа значно зменшилась, якщо порівнювати результати у квітні за 2020 та 2024 роки, а у травні за 2003 та 2024 роки. Осередки снігового покриву майже не змінились, тому можна зробити висновок, що гірські ландшафтні зміни мінімальні, сніг так і покриває Чорногірський хребет.

Водночас можна побачити, що сніговий покрив є неоднорідним у районі згину між горою Петрос та Мала Говерла. Це спричинено активною урбанізацією підніжжя гір, з формуванням кемпінгів та інших місцях перебування туристів.

3.2. Картографування та моделювання змін ландшафтів під впливом потепління

Для формування карт необхідно провести векторизацію змін під впливом потепління. Було обрано зображення на яких найбільше відслідковуються зміни, та майже ідентичні за датою фотографування, ± 2 дні, для збільшення

достовірності моделей змін.

За допомогою інструменту «Створення полігонів (растр у вектор)» у Меню Растр – підрозділ Перетворення (рис. 3.12)

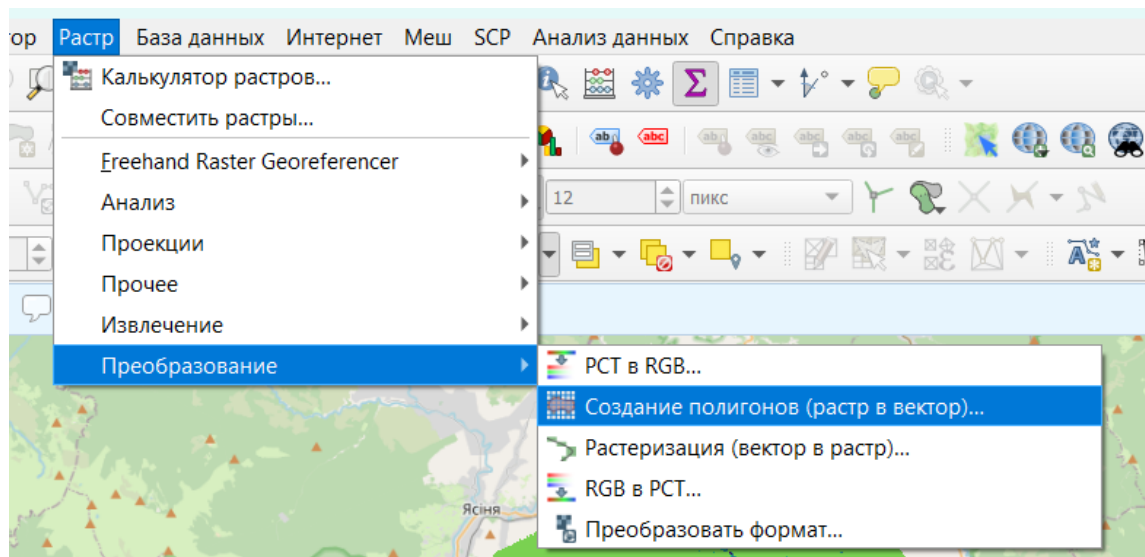


Рис. 3.12. Розташування інструменту Створення полігонів (растр у вектор)

Таким чином створюємо 4 окремих шейп-файли для знімків за 08.04.2020 рік, 10.04.2024 рік, 04.05.2003 рік та 04.05.2024 рік. За допомогою інструменту вибірки можна одразу видалити елементи, які не відповідають снігу з атрибутивної таблиці шару, а також налаштуємо подання створених полігонів.

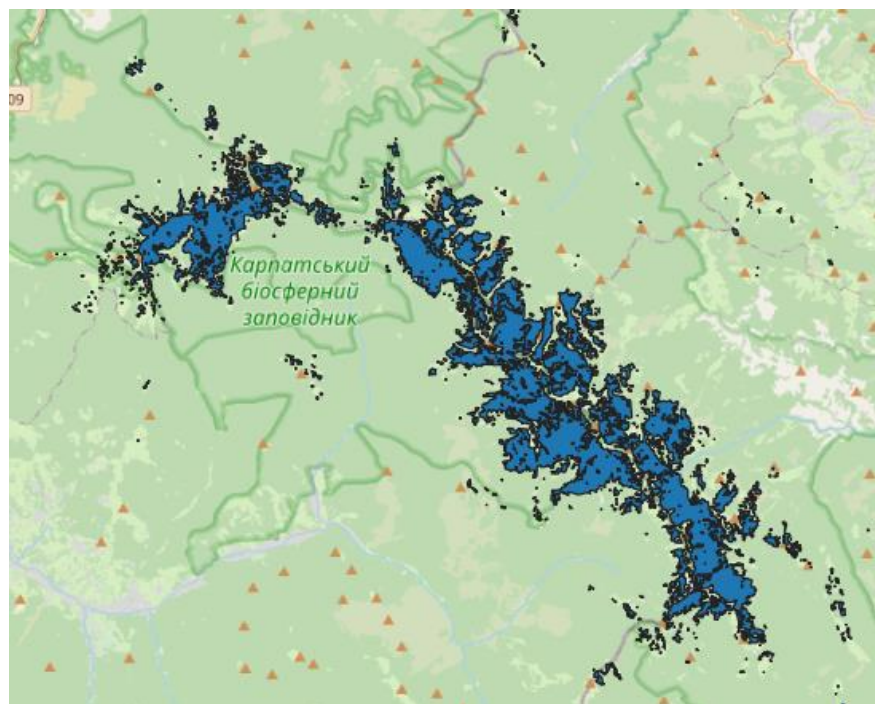


Рис. 3.13. Полігони, що відповідають сніговому покриву із зображення NDSI за 08.04.2020 р.

У QGIS тематичну карту створюють за допомогою функції «Створення макетів». Використовуються інструменти для додавання карти, заголовку, стрілки «північ-південь», легенди, а також лінійного та числового масштабів (через інструмент «текст»).

Розміщення елементів на карті виконується так, щоб відображення снігового покриву було в центрі, заголовок розташований по центру зверху, масштаби – по центру знизу, а стрілка «північ-південь» у лівому верхньому куті. У легенді додається заголовок «Умовні позначення», зайві шари відключаються, та адаптуємо їх назви (рис. 3.14).

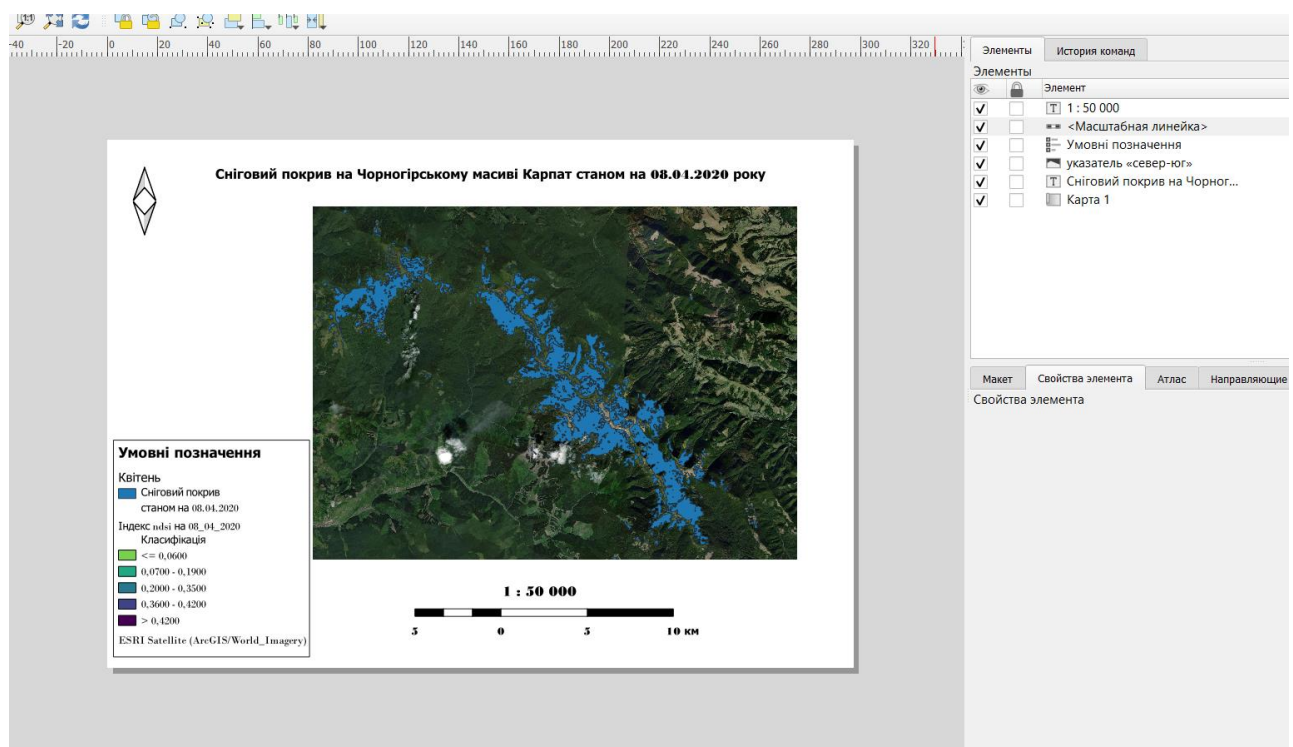


Рис. 3.14. Вікно редагування макетів

Тематичні карти у вкладці створення макетів зберігаємо у растрові файли зображень із розширенням «.png», яке не буде втрачати роздільної здатності та якості. Створені 4 тематичних карти будуть подані у Додатках А-Г.

3.3. Оцінка впливу кліматичних змін на сніговий покрив

Оцінка впливу кліматичних змін на сніговий покрив є критично важливою для розуміння динаміки впливу глобального потепління на гірські

екосистеми, ландшафти та прогнозування достатності водних ресурсів для забезпечення населених пунктів. Зміни в температурних режимах і кількості опадів впливають на товщину, тривалість та поширення снігового покриву, що має значні екологічні та економічні наслідки. Дослідження цих змін дозволяють виявити тенденції та розробити адаптаційні стратегії для пом'якшення негативних впливів клімату на природні та людські системи.

Застосуємо оверлейну функцію «Симетрична різниця», що в результаті створить новий полігональний шар з об'єктами снігу на які тепер менше снігового покриву у 2024 році. Різниця у квітень місяць відображена на рисунку 3.15, за травень – рисунку 3.16.

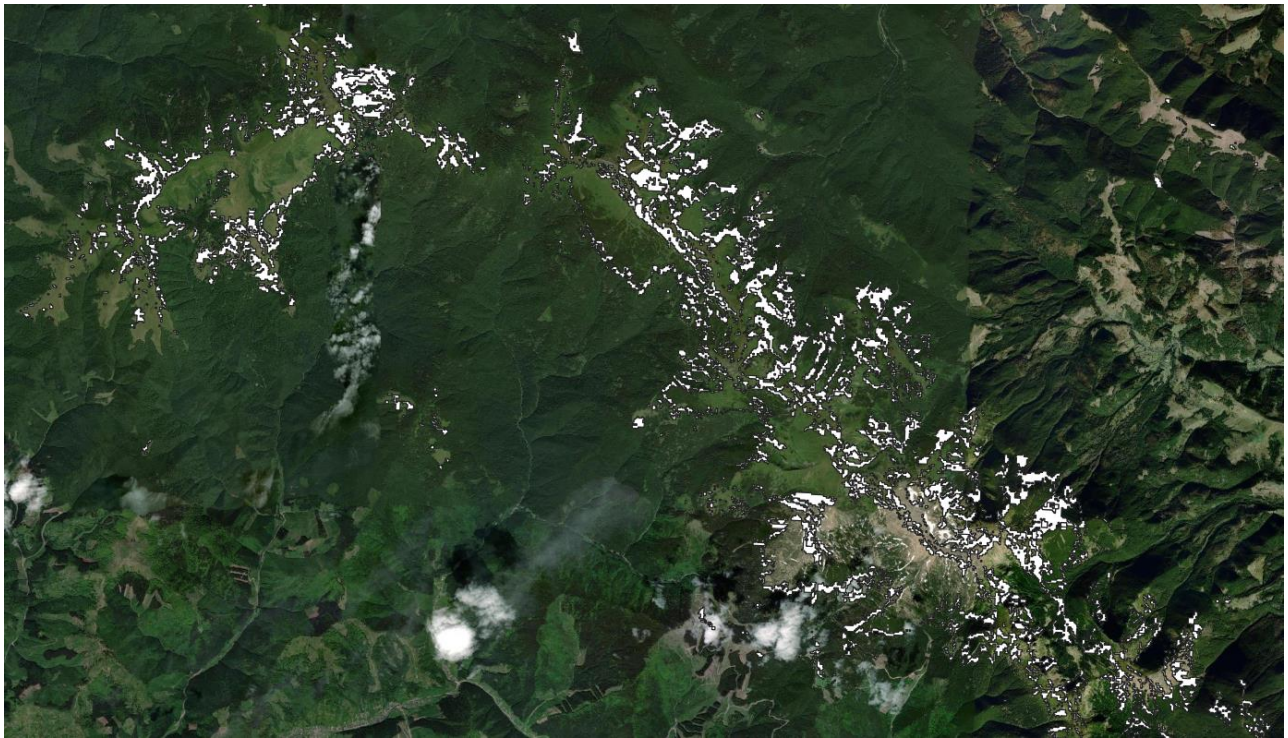


Рис. 3.15. Відображення симетричної різниці снігового покриву за квітень

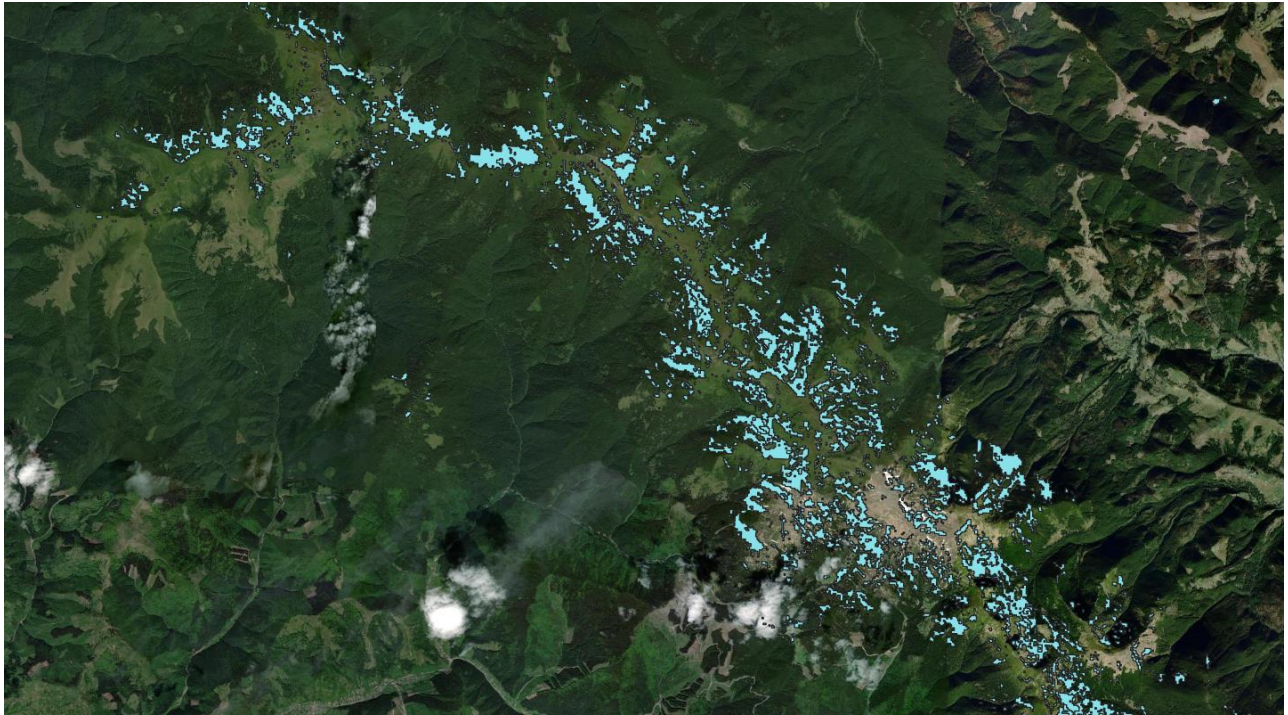


Рис. 3.16. Відображення симетричної різниці снігового покриву за травень

Для оцінки загального стану обрахуємо площі створених полігонів:
Атрибутивна таблиця шару – включення режиму редагування – відкрити калькулятор полів – створити нове поле Area (рис.3.17).

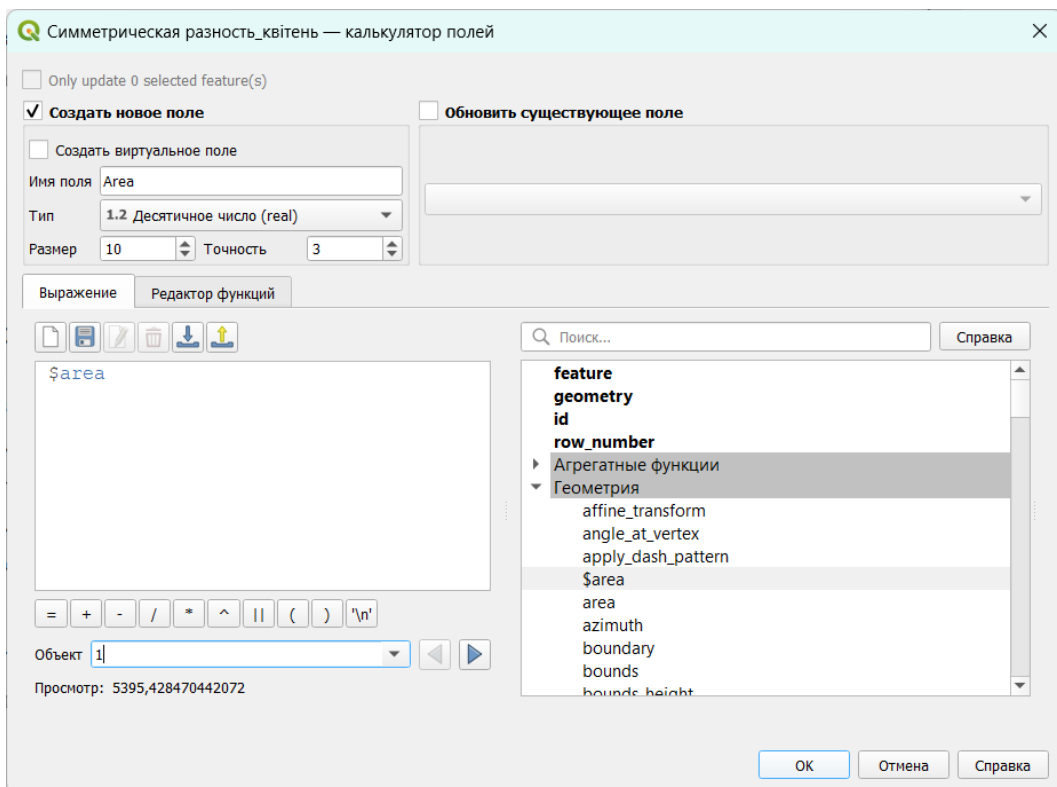
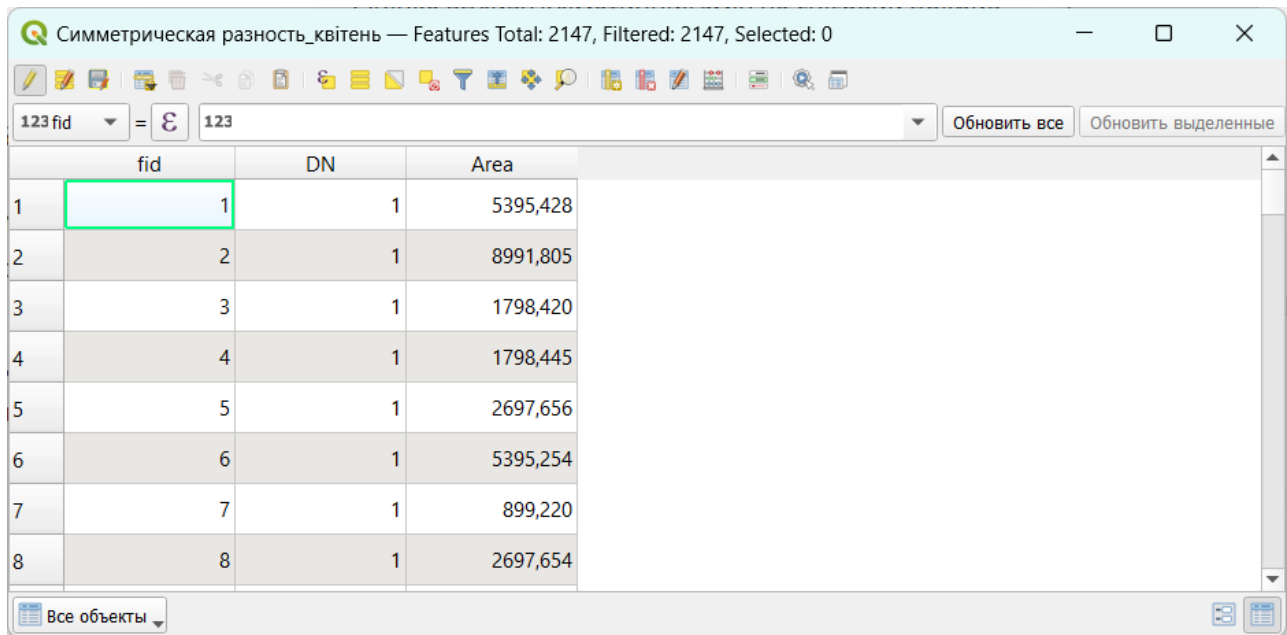


Рис. 3.17. Вікно Калькулятора полів

Значення площі будуть обраховані автоматично у м² (рис.3.18).



The screenshot shows a window titled "Симметрическая разность_квітень" with a toolbar and a table. The table has three columns: "fid", "DN", and "Area". The "Area" column contains values for 8 features, with the first cell highlighted in green.

	fid	DN	Area
1	1	1	5395,428
2	2	1	8991,805
3	3	1	1798,420
4	4	1	1798,445
5	5	1	2697,656
6	6	1	5395,254
7	7	1	899,220
8	8	1	2697,654

Рис. 3.18. Фрагмент атрибутивної таблиці Симетричної різниці за квітень

Для обрахунку загальної площі для скористаємось також Калькулятором полів, але вже без створення нового поля. Застосуємо функцію **SUM** та вкажемо поле Area, у нижньому лівому кутку буде відображено результат (рис. 3.19).

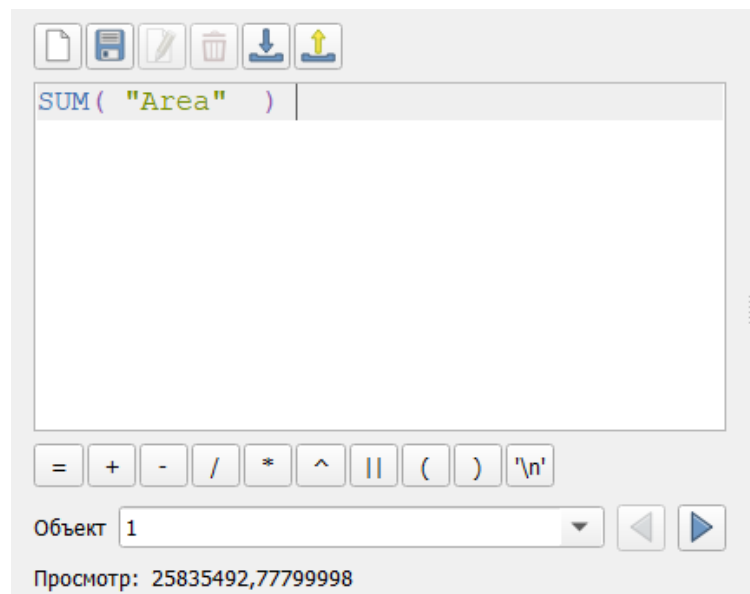


Рис. 3.19. Результат застосування функції **SUM**

Таким чином площа на яку зменшився сніговий покрив станом з 2020 до 2024 року на квітень місяць становить – 25 835 493 м² або 25,84 км², а у травень з 2000 до 2024 року – 24 113 872 м² або 24,11 км².

Така динаміка вказує на стійку тенденцію зменшення снігового покриву. Поточна ситуація є тривожним сигналом про вплив глобального потепління на гірські ландшафти, що може мати серйозні наслідки для екосистеми.

З огляду на значне скорочення площі снігового покриву, варто приймати запобіжні заходи для збереження екосистеми на Чорногірському масиві Карпат. Прийняття рішень щодо створення природоохоронних територій сприятиме збереженню екологічного балансу та забезпеченню сталого розвитку в умовах змінюваного клімату.

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

4.1. Аналіз існуючих природоохоронних територій

Природоохоронні території Карпат мають 1500 різних заповідних об'єктів. Найбільший серед них — Карпатський національний природний парк, площа якого перевищує 50 000 га. Ліси та луки цього заповідника багаті на флору та фауну, зокрема, тут зосереджено 60% усіх карпатських рослин [14].

Природний парк розташований у верхів'ях річок Прут і Черемош в зоні гірського масиву Горґани, Черногори та Ворохта-Путильського низькогір'я.

Оскільки в заповіднику зосереджена велика кількість рідкісних рослин і тварин, вразливих до зовнішнього впливу, звичайним туристам заборонений хід на природоохоронну територію. Практикується тільки науковий туризм у супроводі співробітників парку та за умови отримання спеціального дозволу від керівництва. Заповідник нараховує 45 демонстраційних пралісів, які утворюють 14 НПС (науково-пізнавальних стежок).

Чорногірський заповідний масив розташований на західному та південному схилах Чорногірського хребта та сягає за площею понад 16 000 гектарів. На території масиву панує помірно континентальний клімат, випадає багато опадів, які живлять численні притоки річки Білої Тиси. Найвища точка Чорногірського заповідника Карпат — гора Говерла (2061 м) [14].

Тут переважають змішані ліси — хвойні та листяні дерева, а високо в горах трапляються смеречники. Ліси майже позбавлені впливу людини — вони ростуть та розвиваються природним чином. Після давнього зледеніння в горах утворились гідрографічні об'єкти у вигляді озер:

- Брескул — розташоване на висоті 1750 м з прозорою слабо мінералізованою водою, місце проживання рідкісних тритонів;
- Верхнє озеро — найглибша в цьому районі водойма з кришталево чистою водою;
- Бребенескул — найвище озеро (1801 м) з прозорою блакитною водою.

Здебільшого природоохоронні території залучені на охорону природних

масивів лісів, тварин та гідрографічних об'єктів. Зменшення кількості опадів та пришвидшене танення снігового покриву, спричинене впливом глобального потепління, створить гідрографічні проблеми забезпечення водою річок Прут та Тиси у подальші десятиліття. Це, в свою чергу, може призвести до дефіциту водних ресурсів, необхідних для зрошення сільськогосподарських угідь, підтримки біорізноманіття та задоволення потреб населення.

Для запобігання цим негативним наслідкам, необхідно впроваджувати комплексні заходи щодо збереження водних ресурсів та адаптації до змін клімату, такі як створення нових природоохоронних об'єктів.

4.2. Обґрунтування створення нових природоохоронних об'єктів

Збереження снігового покриву в Чорногірському масиві Карпат є надзвичайно важливим як для підтримки водних ресурсів, так і для обмеження будівництва туристичних поселень, які можуть нести антропогенний вплив на екосистему гірських ландшафтів та гідроресурсів [16]. Ця проблема набуває особливої актуальності в умовах глобального потепління, яке суттєво впливає на регіональний клімат та гідрологічні режими.

Сніговий покрив відіграє ключову роль у водному балансі Чорногірського масиву, оскільки є основним джерелом прісної води для річок та водосховищ. Сніг накопичується взимку і поступово тане навесні та влітку, забезпечуючи стабільний потік води протягом року. Це важливо не лише для підтримки біорізноманіття, але й для задоволення потреб місцевого населення, зокрема у питній воді та воді для сільського господарства. Втрата стійкого снігового покриву призведе до нестачі водних ресурсів у літні місяці, коли потреба у воді найбільша.

Крім того, сніговий покрив виконує важливу функцію регулювання температурного режиму ґрунту та запобігання ерозії. Без достатнього снігового покриву ґрунт стає більш вразливим до дії вітру та води, що може призвести до збільшення випадків зсувів та інших геологічних процесів. Обмеження будівництва туристичних поселень в гірських регіонах є важливим заходом для

зменшення антропогенного впливу на екосистему та збереження гідроресурсів. Гірські ландшафти є надзвичайно вразливими до змін, спричинених будівництвом і діяльністю людини. Також вони є чинниками локальної зміни кліматичного режиму в період снігового покриву.

Збереження снігового покриву також має важливе значення для підтримки екосистемного балансу в Карпатах. Снігові масиви забезпечують стабільні умови для проживання багатьох видів флори та фауни, які адаптовані до холодного клімату. Зникнення снігового покриву може призвести до зникнення цих видів, що матиме негативний вплив на біорізноманіття регіону.

Для запобігання негативним наслідкам руйнування снігового покриву необхідно створити нові природоохоронні об'єкти. Застосування методів відновлення лісів, що утримують температурний режим, та контроль за антропогенним впливом на гірські екосистеми. Також важливо розвивати стійкі туристичні практики, які мінімізують вплив на природне середовище. Рекомендовані місця нових природоохоронних зон відображено на рисунку 4.1.

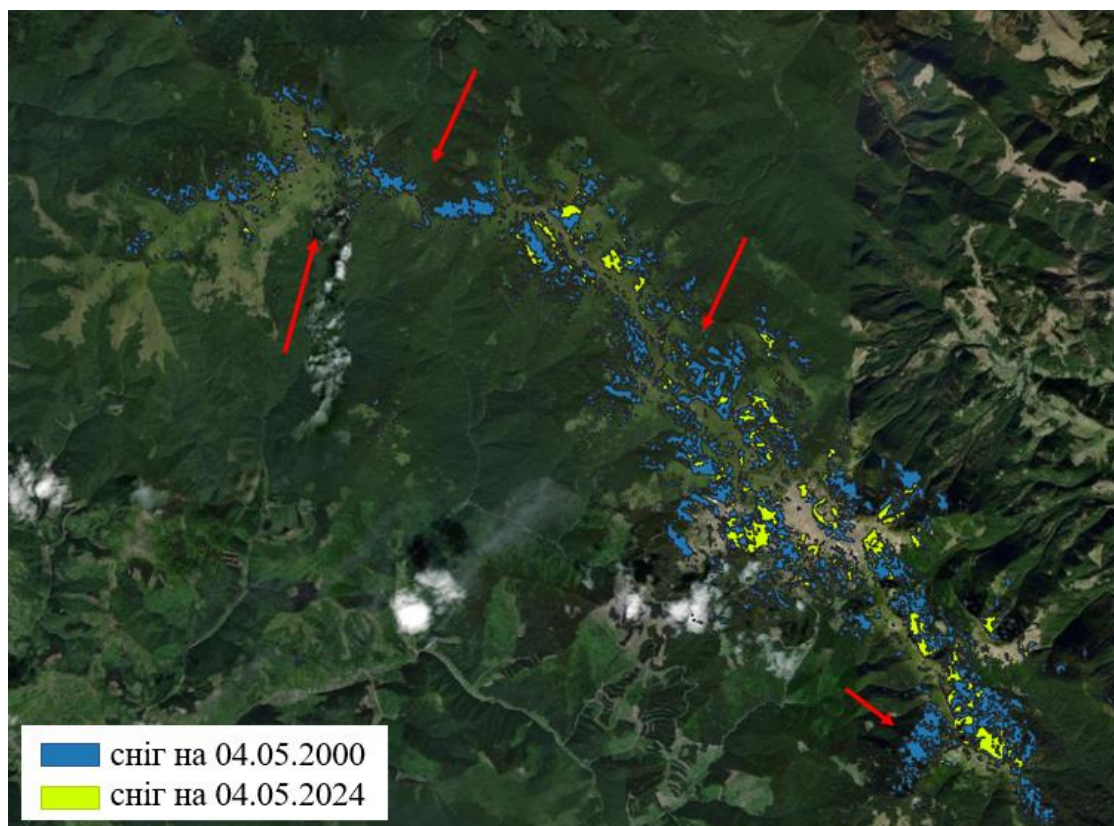


Рис. 4.1. Рекомендоване розміщення нових природоохоронних зон
Отже, створення нових природоохоронних об'єктів щодо збереження

біорізноманіття, гірських ландшафтів, гідрології території та снігового покриву в Чорногірському масиві Карпат є критично важливим. В умовах змін клімату необхідно впроваджувати ефективні заходи для збереження цього цінного природного ресурсу, що забезпечить збереження унікальності Українських Карпат, їх ландшафтів та біорізноманіття.

4.3. Перспективи оптимізації природокористування в умовах змін клімату

Починаючи з листопада 1968 р., після прийняття постанови №568 «Про організацію нових державних заповідників в Українській РСР», було прийнято ряд нормативно-правових актів, щодо природоохорони, в тому числі і Чорногірського масиву Карпат. Здебільшого вони мали обмеження на охорону від вирубки лісів, збереження іншої флори та фауни Карпат, гідрологічних об'єктів, а також створення флористичних заповідників. У 1992 році було внесено до спадку ЮНЕСКО, що значно посилило охорону природних територій масиву.

Перспективи оптимізації природокористування в умовах змін клімату наразі стають все більш актуальними, оскільки кліматичні зміни значно впливають на природні ресурси та екосистеми. Однією з ключових стратегій є впровадження адаптивного управління, яке передбачає гнучкі та динамічні підходи до управління природними ресурсами, здатні регулювати антропогенні чинники впливу на гідрологічний режим у Чорногірському масиві. Це включає регулярний моніторинг екосистем, прогнозування кліматичних ризиків та розробку сценаріїв адаптації, які дозволяють оптимально знизити негативний вплив глобального потепління на екосистему в цілому.

Розширення площ природоохоронних територій та впровадження відновлюючих практик біорізноманіття у лісовому господарстві та туризмі можуть значно знизити негативний вплив кліматичних змін на довкілля. Наприклад, агролісомеліорація – інтеграція лісових насаджень у сільськогосподарські ландшафти – може допомогти зменшити вплив

глобального потепління, тим самим утримуючи температурний режим, зменшення проникання прямого світла безпосередньо на ґрунт та сніжний покрив, утримуючи вологу.

Обмеження будівництва туристичних поселень на природоохоронних територіях сприятиме збереженню природного середовища, зменшуючи навантаження на екосистеми, локальний температурний режим та підтримуючи біорізноманіття. Важливо запроваджувати стратегії кемпінгового туризму, будівництва поселень з екологічно чистих матеріалів, фільтрацію води, зменшення площ поселень в одній локації. Це дозволить мінімізувати негативний вплив на гірські ландшафти та забезпечити довгострокову стійкість туристичних регіонів.

Таким чином, оптимізація природокористування в умовах змін клімату вимагає комплексного підходу, який включає адаптивне управління, збереження та відновлення екосистем, створення нових природоохоронних об'єктів.

ВИСНОВКИ

Збереження природних територій гірських ландшафтів у Україні, є чи не одним із ключових завдань природно-заповідного фонду. Основними чинниками такого зосередження уваги на цьому є незаконна вирубка лісів, збільшення зсувів, ерозії ґрунтів, антропогенний вплив, достатність прісної води та безумовно глобальне потепління, що спричиняє зміну кліматичних умов у Карпатах. Регулювання даного фактору в Україні досягається обмеженнями викиду мас в атмосферу виробництв, що зменшують озоновий шар. Але також важлива локальна зона впливу на збереження біорізноманіття екосистеми.

У ході проведення геоінформаційного аналізу впливу глобального потепління на Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ, було виявлено значний вплив на тривалість снігового покриву, що забезпечує поповнення прісною водою річки, ґрунти, населення та загалом гідрологічний баланс. Використання архіву супутникових знімків, дозволило відтворити динаміку змін, які відбувались з сніговим покривом за минулі роки і нині.

Вихідні дані було завантажено безкоштовно, завдяки офіційному сайту USGS Earth Explorer, Геологічної служби США, який в свою чергу є оператором програм місій Landsat 7 та 8, знімки з яких було використано. Обробка даних була проведена у програмі QGIS, яка дозволяє обробляти дані ДЗЗ та проводити геоінформаційний аналіз в одному середовищі. Для ідентифікації на знімках снігу було використано індекс NDSI, що ефективно розділяв хмари, не відносячи їх до снігового покриву.

Станом на сьогодні площа на яку зменшився сніговий покрив станом з 2020 до 2024 року на квітень місяць становить – 25 835 493 м² або 25,84 км², а у травень з 2000 до 2024 року – 24 113 872 м² або 24,11 км².

Така динаміка вказує на стійку тенденцію зменшення снігового покриву. Поточна ситуація є тривожним сигналом про вплив глобального потепління на біорізноманіття гірських ландшафтів, що може мати серйозні наслідки для екосистеми.

Застосування індексу NDSI виявилось ефективним інструментом, щодо

обробки даних ДЗЗ для ідентифікації ареалів снігу. Впровадження автоматизованої обробки, обрахунку площ за відповідними значеннями пікселя, або ж залучення штучного інтелекту для навчання дозволить проводити аналіз стану «в моменті», що дозволить реагувати природно-заповідному фонду України на критичність ситуації та приймати рішення, щодо нормалізації стану.

Створення нових природоохороних територій, для забезпечення тривалості присутності снігового покриву на схилах Чорногірського масиву Карпат, дозволить зберегти наповнення річок талою прісною водою, підтримку достатньої вологості ґрунтів, загальне біорізноманіття території, збереження озер, а також дозволить регулювання активності впливу туристичної діяльності, будівництва туристичних поселень та інших чинників, що можуть впливати на стабільність клімату в цьому районі. Подальший аналіз впливу глобального потепління дозволить визначати ареали територій, де вже є сигналізуюча зміна ситуації, що дозволить запроваджувати нові зони посиленої природної охорони, для збереження екосистеми Українських Карпат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Протокол про стратегічну екологічну оцінку до Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті : Закон України від 01.07.2015 р. № 562-VIII. Відомості Верховної Ради. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_b99

2. Зазерина Ю.А. Вивчення екологічного стану снігового покриву і його вплив на безпеку людини/Зазерина Ю.А., Смалій В.М., Вамболь В.В. // Матеріали VI-ї студентської наукової конференції «Безпека людини і суспільства в сучасних умовах життєдіяльності», 14 – 15 травня 2015 року. – Х.: Нац. юрид. ун-т, 2015. – С. 74 – 76

3. Вплив зміни клімату на формування і розвиток екологічних проблем/ Гега М.Ф. Кваліфікаційна магістерська робота, ОДЕУ, 2018. Режим доступу:

[http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/3778/1/Gega%20M.%20F. М 2018 .pdf](http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/3778/1/Gega%20M.%20F.%20M%202018.pdf)

4. Глобальне потепління: проблеми, дискусії та прогнози. Екологія, біологія, медицина/ Світогляд, 2020 №6 (86). Режим доступу: <https://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/svitoglyad/svit-2020-15-6/svitoglyad-6-2020-bass-baz-04.pdf>

5. Шутько В. С. Міжнародно-правове регулювання проблеми зміни клімату/Шутько В. С. Молодий вчений №10(74), жовтень, 2019 р. Режим доступу: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/1804/1776>

6. Савчук Є. В. Кліматичні мігранти – наслідок глобальної зміни клімату/ Савчук Є. В., Демир Л. Ф., Боженко Т. І. Nature management, resource saving and ecology/ Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference «Challenges in Science of Nowadays» (May 26-28, 2023). Washington, USA, №156. Режим доступу: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/3518/3551>

7. Моніторинг снігового покриву в районі Чорногірського хребта Східних Карпат як критерій техногенної безпеки регіону/ Безпека Карпат, 2018. Режим доступу:

https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/konkurs/bezpeka_karpat_.pdf

8. Хабутдинов Ю. Г. Основні фактори формування клімату. Режим доступу: <http://www.cawater-info.net/pdf/habutdinov.pdf>

9. Технологічна схема виробництва/ Лекція 2. Луцький національний технічний університет. Режим доступу: <https://e-tk.lntu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=6597>

10. Paul, F., Huggel, C., & Kääh, A. (2004). Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 510–518. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703003444>

11. Li, F., Maussion, F., Wu, G., Chen, W., Yu, Z., Li, Y., & Liu, G. (2022). Influence of glacier inventories on ice thickness estimates and future glacier change projections in the Tian Shan range, Central Asia. *Journal of Glaciology/Journal of Glaciology*, 69(274), 266–280. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-glaciology/article/influence-of-glacier-inventories-on-ice-thickness-estimates-and-future-glacier-change-projections-in-the-tian-shan-range-central-asia/6B6187464841F10A93F972A37E359AB1>

12. Bishop, M. P., Shroder, J. F., Hickman, B. L., & Copland, L. (1998). Scale-dependent analysis of satellite imagery for characterization of glacier surfaces in the Karakoram Himalaya. *Geomorphology*, 21(3–4), 217–232. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X97000615>

13. Dozier, J. (1989). Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28, 9–22. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425789901016>

14. Заповідні території Карпат/ Стара Правда, 07.02.2023. Режим доступу: <https://starapravda.com.ua/blog/zapovidnyky-karpat-ta-ohorona-pryrody/>

15. Канали Landsat 8: Комбінації для супутникових знімків. EOS DATA ANALYTICS, 14.04.2023 р. Режим доступу: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8/>

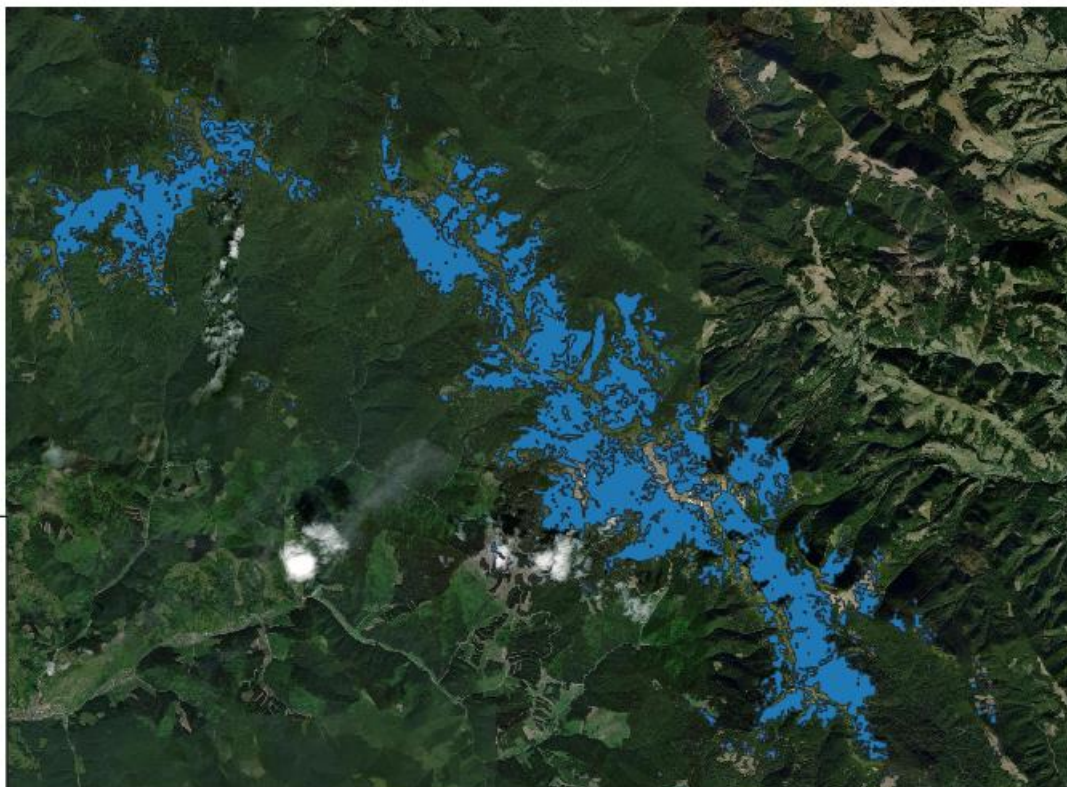
16. Карпатський біосферний заповідник/ Природні парки. Режим доступу: <https://www.nationalparks.in.ua/zapovidnyky/biosferni/karpaskyi-biosfernyi/>
17. Нормалізований диференційний індекс снігового покриву (NDSI)/ EOS DATA ANALYTICS. Режим доступу: <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndsi/>
18. Проблеми забруднення атмосфери та знищення озонового шару. Режим доступу: https://knowledge.allbest.ru/ecology/3c0b65635a3bd68a4c53a88521206c26_0.html
19. Чорногора, Вікіпедія. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B0>
20. Landsat 7/ Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Landsat_7
21. Landsat 8/ Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Landsat_8
22. Level-2A. Algorithm Overview/ Sentinel Online. URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-2a/algorithm-overview>
23. Normalized Difference Snow Index/Landsat Missions, USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/normalized-difference-snow-index>
24. USGS Earth Explorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

ДОДАТКИ

Додаток А. Сніговий покрив на Черногірському масиві Карпат станом на 08.04.2020 року



Сніговий покрив на Черногірському масиві Карпат станом на 08.04.2020 року



Умовні позначення

Квітень

■ Сніговий покрив
станом на 08.04.2020

Індекс *ndsi* на 08_04_2020
Класифікація

- $\leq 0,0600$
- 0,0700 - 0,1900
- 0,2000 - 0,3500
- 0,3600 - 0,4200
- $> 0,4200$

ESRI Satellite (ArcGIS/World_Imagery)

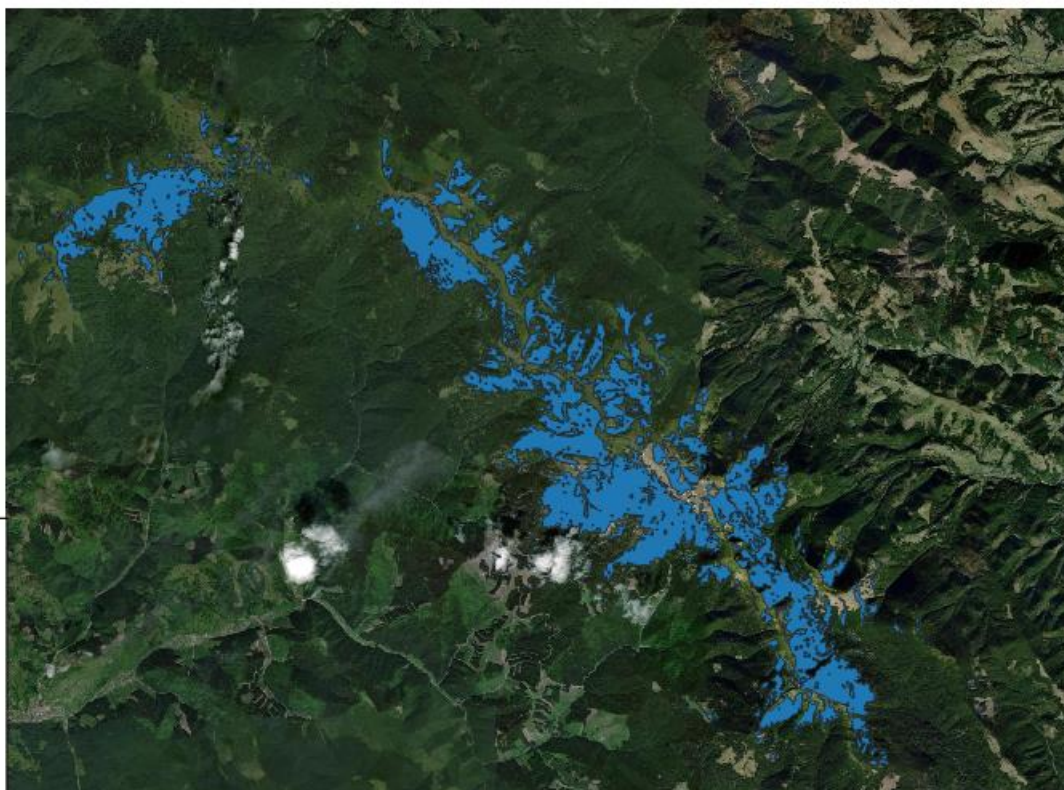
1 : 50 000



Додаток Б. Сніговий покрив на Черногірському масиві Карпат станом на 10.04.2024 року



Сніговий покрив на Черногірському масиві Карпат станом на 10.04.2024 року



Умовні позначення

Квітень

Сніговий покрив
станом на 10.04.2024

Індекс ndsi на 10_04_2024

Класифікація

<= 0,0600

0,0700 - 0,1900

0,2000 - 0,3500

0,3600 - 0,4200

> 0,4200

ESRI Satellite (ArcGIS/World_Imagery)

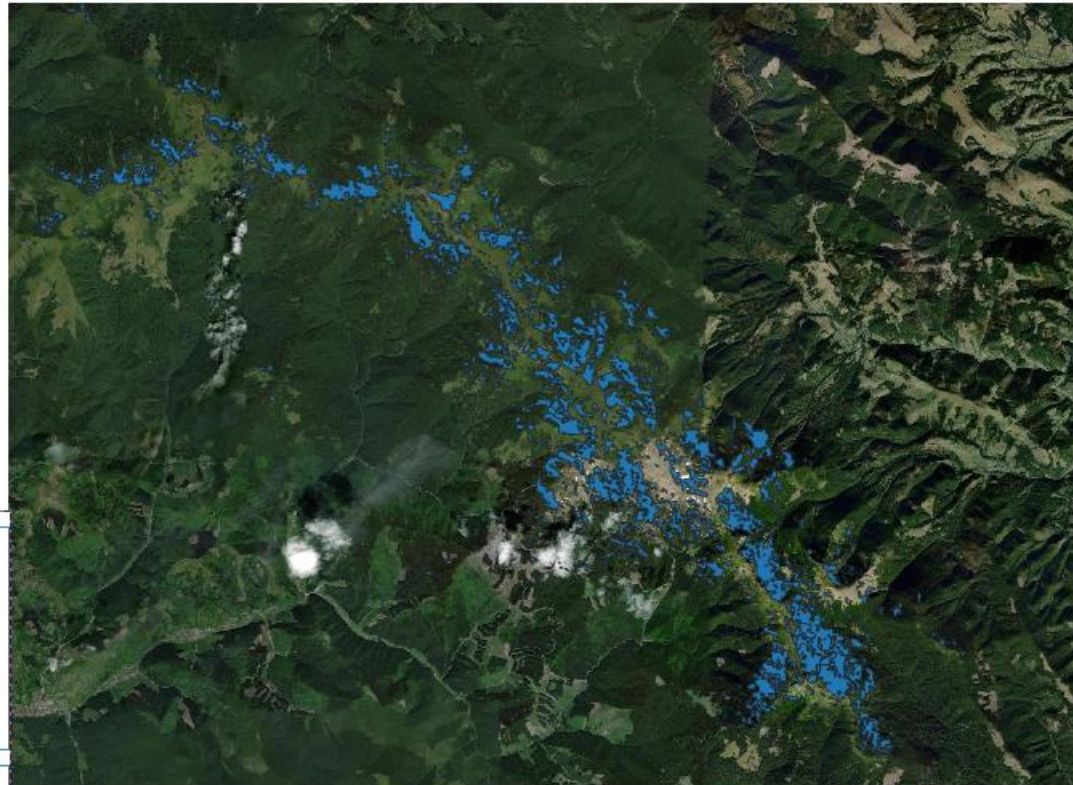
1 : 50 000



Додаток В. Сніговий покрив на Чорногірському масиві Карпат станом на 04.05.2000 року



Сніговий покрив на Чорногірському масиві Карпат станом на 04.05.2000 року



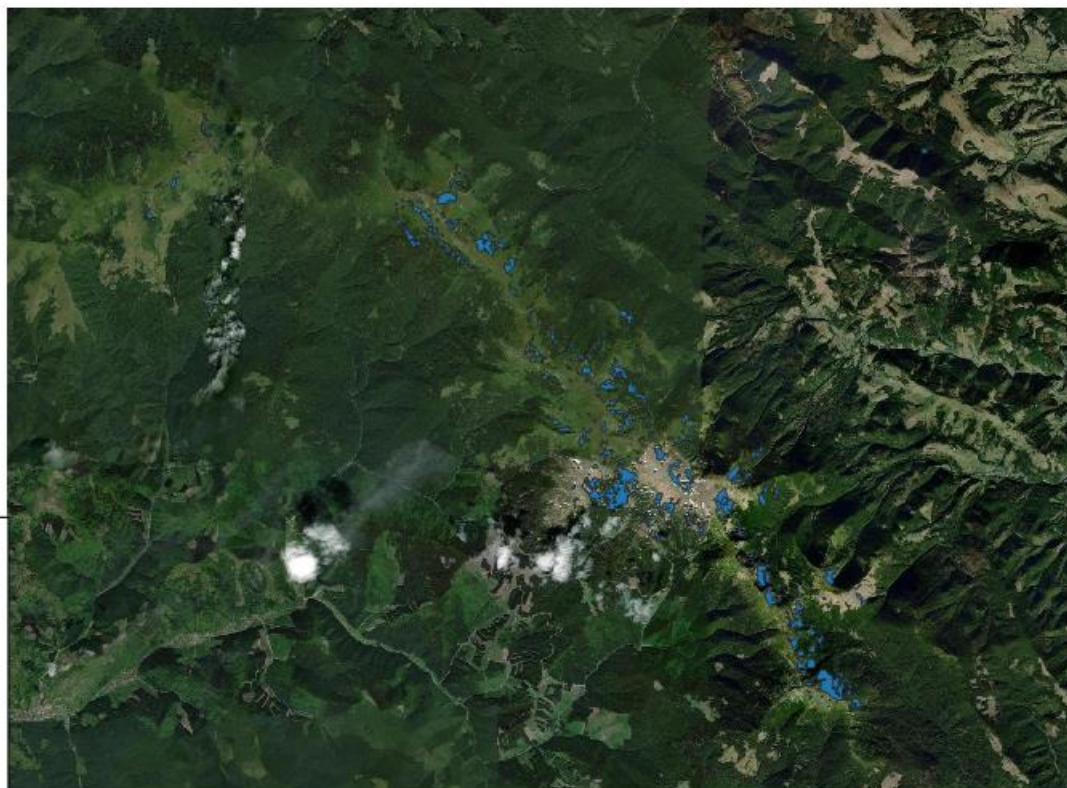
1 : 50 000



Додаток Г. Сніговий покрив на Черногірському масиві Карпат станом на 04.05.2024 року



Сніговий покрив на Черногірському масиві Карпат станом на 04.05.2024 року



Умовні позначення

Квітень

 Сніговий покрив станом на 04.05.2024

Індекс ndsi на 04_05_2024

Класифікація

 $\leq 0,0600$

 0,0700 - 0,1900

 0,2000 - 0,3500

 0,3600 - 0,4200

 $> 0,4200$

ESRI Satellite (ArcGIS/World_Imagery)

1 : 50 000



Додаток Д. Графічні матеріали

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет геоінформаційних систем і управління територіями
Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**Геоінформаційний аналіз впливу глобального потепління на
Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ**

Виконав: студент 4 курсу,
групи ГІСТ-20
Перебойчук Н.А.
Керівник: доцент, к. т. н.
Нестеренко О. В.

Київ 2024 р.

Мета, об'єкт та предмет роботи

Мета роботи – провести геоінформаційний аналіз впливу глобального потепління на Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ. Оцінити вплив кліматичних змін на сніговий покрив масиву.

Об'єкт даного дослідження – гірська місцевість Чорногірського масиву Карпат.

Предмет дослідження – аналіз впливу глобального потепління в динаміці років на сніговий покрив масиву



Завдання роботи

Дослідження процесу глобального потепління, його вплив на гірські ландшафти;

Визначення методів проведення геоінформаційного аналізу впливу кліматичних змін

Пошук та завантаження вихідних даних супутникових знімків

Визначення індексу NDSI у динаміці років

Створення тематичних карт

Застосування оверлейних функцій для оцінки впливу глобального потепління

Розробка пропозиції, щодо створення нових природоохоронних територій



Глобальне потепління: поняття, причини, нормативно-правова база

Основна причина глобального потепління – зростання концентрації парникових газів (в основному вуглекислого газу) в атмосфері Землі.

Регулювання такого явища виконується Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату. Україна її ратифікувала з 29 жовтня 1996 року. Ця конвенція створила глобальний механізм співробітництва, який включає систему моніторингу та звітування щодо національних викидів парникових газів.

У 2015 році в Парижі пройшла 21 Конференція Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, в якій взяли участь 196 країн світу, де було прийнято глобальну угоду, яка спрямована на протидію зміні клімату на 2021–2030 рр., яка має назву Паризька угода. Україна ратифікувала її 14.07.2016 р.



Вплив змін клімату на гірські ландшафти

Основні ризики гірських районів пов'язані зі збільшенням інтенсивності екстремальних погодних явищ, зміною режиму випадання опадів та таненням льодовиків.

Практично у всіх гірських масивах світу спостерігається **зниження тривалості періоду, протягом якого там лежить сніговий покрив**, та скорочення льодовикових систем.

У багатьох регіонах світу саме сніг та лід забезпечують людей водними ресурсами, що дозволяють займатися сільським господарством.

Зміна помірною клімату в перші десятиліття століття призведе до підвищення сукупної продукції незрошувального землеробства на 5-20%, однак при цьому між регіонами буде спостерігатися значна різниця.



Загальні методи аналізу впливу кліматичних змін на ландшафти

Супутникові
спостереже-
ння та ДЗЗ

Моделюва-
ння та
прогнозува-
ння

Геоінформа-
ційні
системи

Польові
дослідження

Аналіз
історичних
даних

Біоіндика-
тори

Палеокліма-
тичні
дослідження

Соціально-
економічні
аналізи

Фізико-географічна характеристика Чорногірського масиву Карпат

Чорногірський масив розташований у західній частині України на межі 3 областей: Закарпатської, Івано-Франківської та Чернівецької, а також є найвищим гірським масивом Українських Карпат.

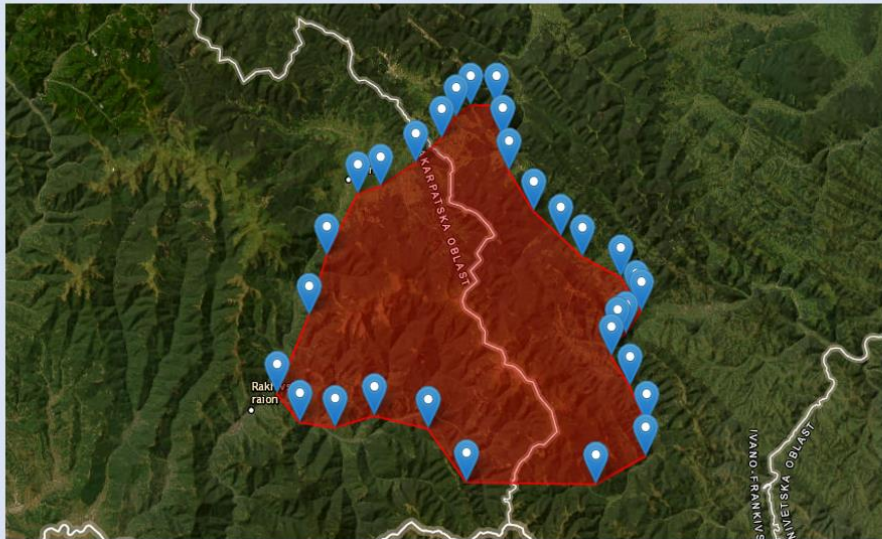
Найвищими горами в масиві є – Говерла, Петрос, Менчул, Піп Іван.

Головний хребет простягається уздовж приблизно на 40 км між долинами річок Чорної Тиси на заході і Чорного Черемоша на сході.

Перший сніг на Чорногірському масиві з'являється під кінець листопада. Найбільша потужність снігового покриву в кінці лютого - на початку березня: 70-90 см на північно-східному схилі і до 300 см на південно-західному.



Підбір вихідних даних дистанційного зондування Землі



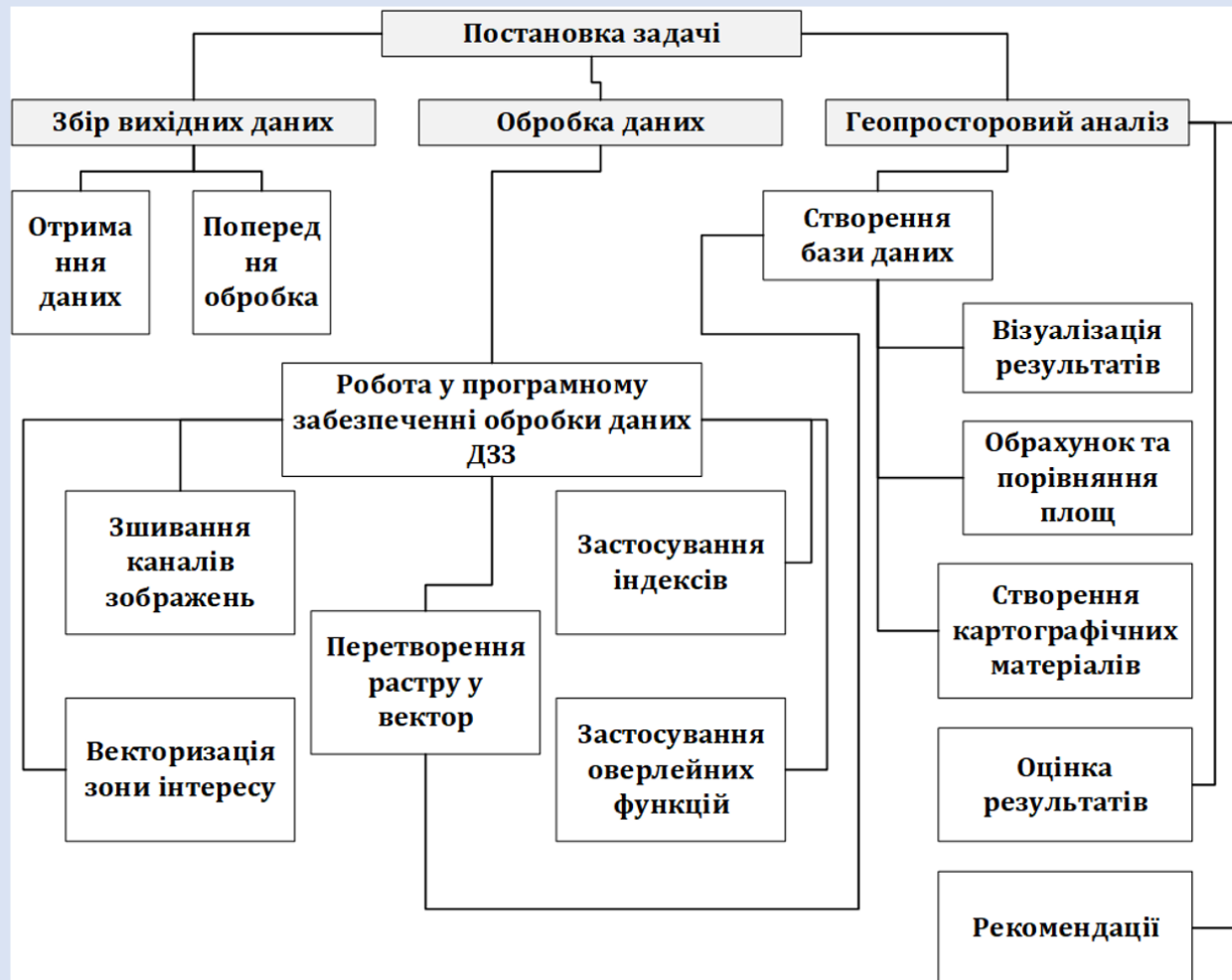
У роботі будуть використані знімки супутників Landsat 7 та Landsat 8.

Вибір даних буде починатися з 2000 року і до 2024 року.

За період між 2004 і 2013 роками не було взято дані, із-за збою на Landsat 7 коректору ліній сканування.

Вихідні дані було завантажено з офіційного сайту Геологічної служби США (USGS).

Технологічна схема виконання робіт з матеріалами ДЗЗ



Аналіз багаторічної динаміки ландшафтів за даними ДЗЗ

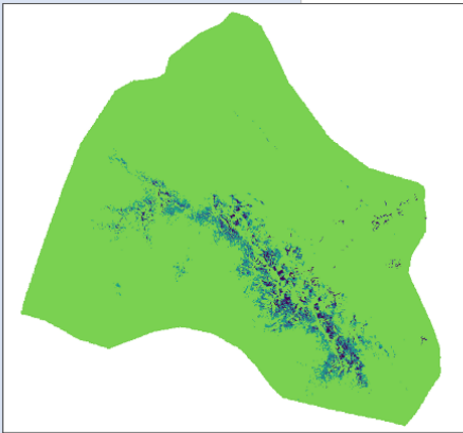
Для проведення аналізу динаміки зміни ландшафтів вихідними даними буде в цьому дослідженні база даних з 17 знімків супутників Landsat-7 та Landsat-8 починаючи з 2000 року по 2024 рік.

Для визначення снігового покриву та в майбутньому обрахунку його площі буде застосовано нормалізований диференційний індекс снігового покриву (NDSI).

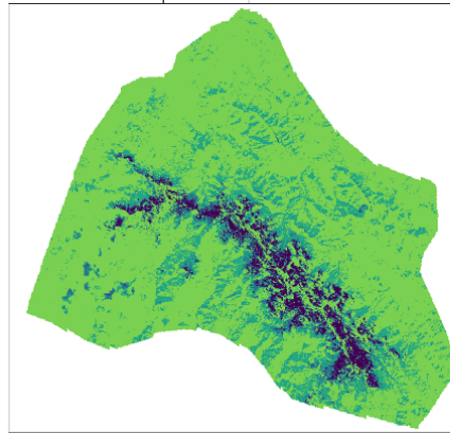
$$NDSI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

Обробка даних буде відбуватися у QGIS.

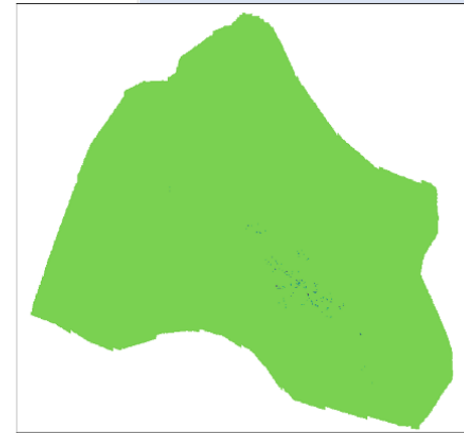
Значення NDSI	Інтерпретація
-1 – 0,06	Вільні від хмар
0,07-0,19	Хмари
0,20-0,35	Без снігу
0,36-0,42	Сніг
0,42-1,0	Стійкий сніговий покрив



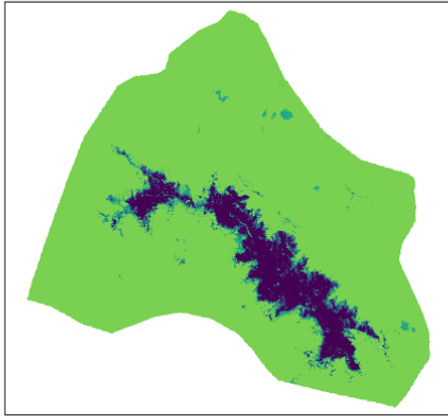
02/05/2000



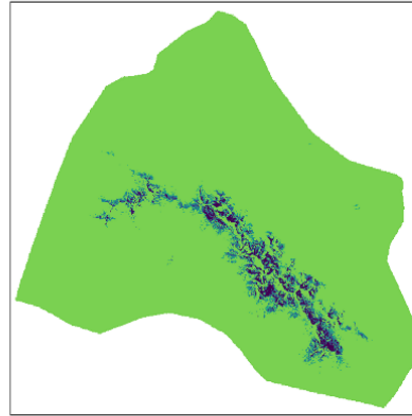
04/05/2003



03/06/2017



02/05/2023

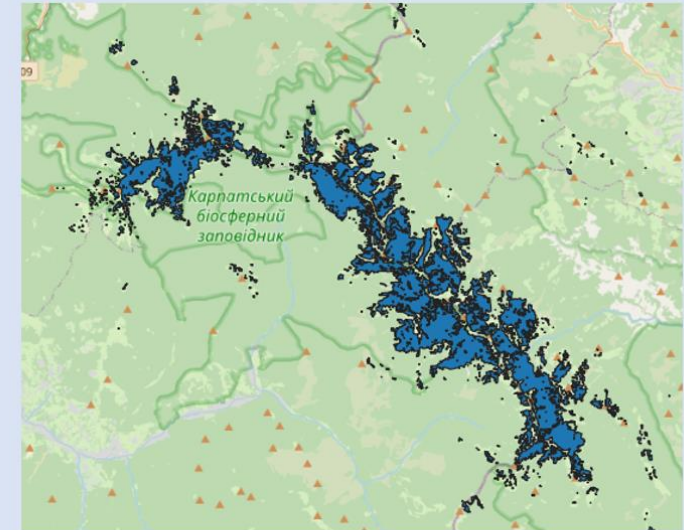
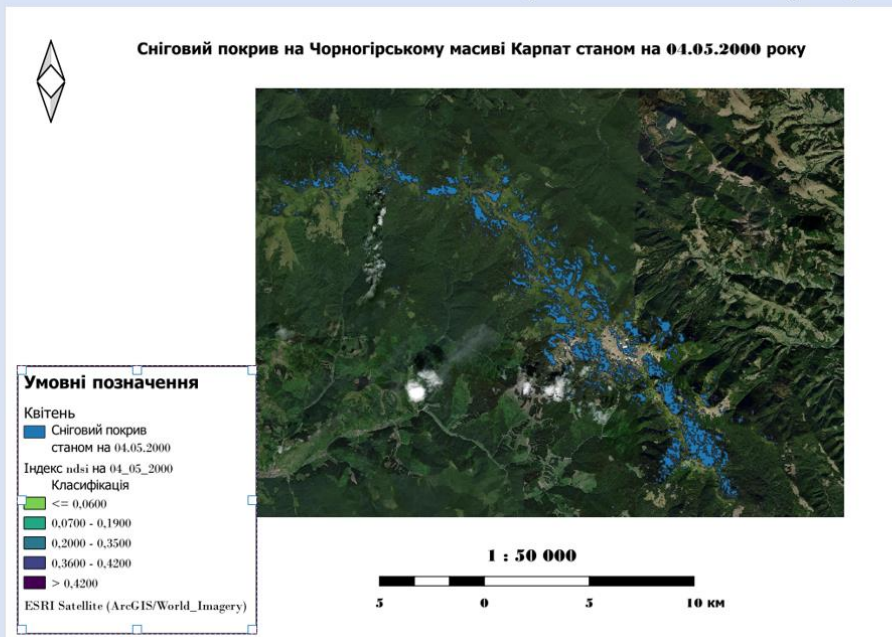


04/05/2024

Картографування та моделювання змін ландшафтів під впливом потепління

На основі обчисленого растру індексу NDSI створено вектор полігонів снігу.

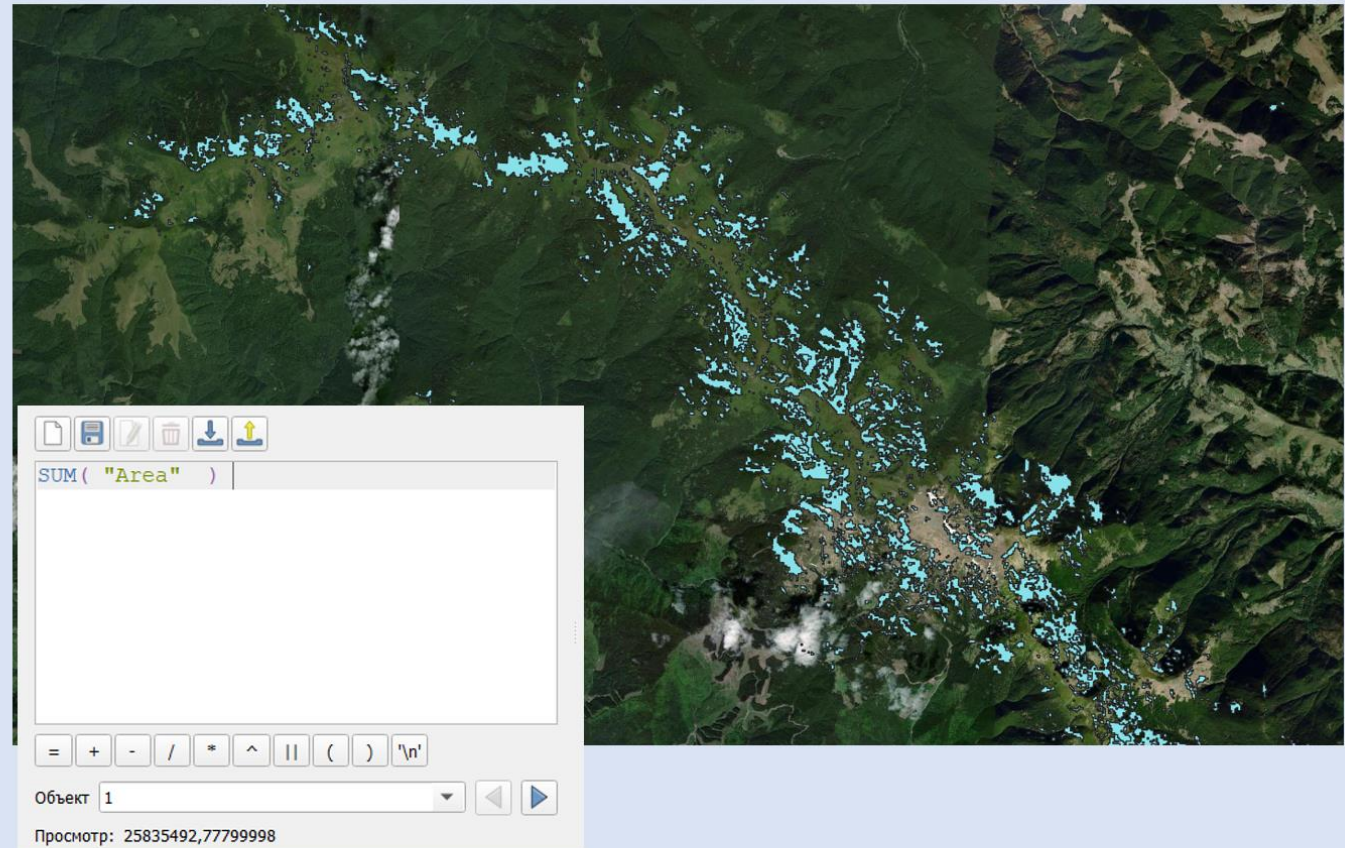
У QGIS за допомогою функції «Створення макетів» було створено 4 тематичні карти, які найбільше відображають вплив глобального потепління на площу снігового покриву.



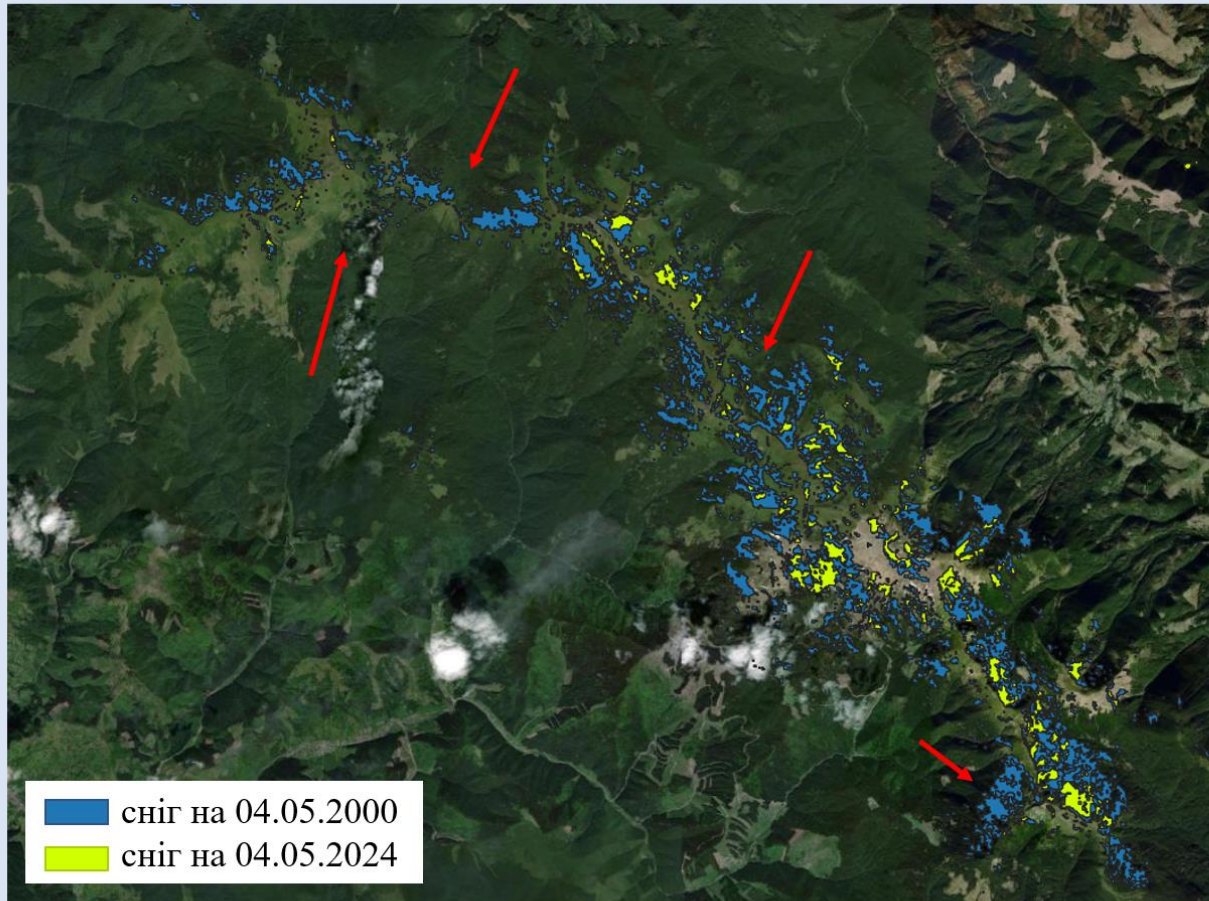
Оцінка впливу кліматичних змін на сніговий покрив

Для того, щоб обчислити площу снігу на яку зменшився покрив з роками, визначено такі полігони за допомогою функції оверлейного аналізу.

Таким чином площа на яку зменшився сніговий покрив станом з 2020 до 2024 року на квітень місяць становить $-25,84 \text{ км}^2$, а у травень з 2000 до 2024 року $-24,11 \text{ км}^2$



Рекомендації щодо створення нових природоохоронних зон



Існуючі природоохоронні націлені переважно на збереження фауни та флори Чорногірського масиву та Карпат в цілому.

Збереження снігового покриву є важливим для утримання джерела прісної води для річок, озер та інших гідрографічних об'єктів.

Відновлення лісів допоможе зберігати температурний баланс, та утримувати вологу і ґрунті. Також мають бути створені умови будівництва туристичних місць.

Висновки

- У ході проведення геоінформаційного аналізу впливу глобального потепління на Чорногірський масив Карпат за допомогою даних ДЗЗ, було виявлено значний вплив на тривалість снігового покриву, що забезпечує поповнення прісною водою річки, ґрунти, населення та загалом гідрологічний баланс.
- Застосування індексу NDSI, є ефективним інструментом виявлення наявності снігу, при цьому відділяючи хмарність.
- Станом на сьогодні площа на яку зменшився сніговий покрив станом з 2020 до 2024 року на квітень місяць становить $-25,84 \text{ км}^2$, а у травень з 2000 до 2024 року $-24,11 \text{ км}^2$.
- У ході роботи було створено 4 тематичні карти, які відображають суттєвий вплив глобального потепління.
- Виявлено місця для створення нових природоохоронних зон, що допоможуть зберегти сніговий покрив, як джерело прісної води, як для гідрографічних об'єктів, так і для підтримання біорізноманіття, вологості ґрунтів, а також регулювання впливу активності туристичної діяльності.

Дякую за увагу!

