

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ,
ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
_____ Тамара ДУДАР
« _____ » _____ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Тема: «Еколого-економічні збитки від танення арктичних льодовиків»

Виконавець: здобувачка групи ЕК-401 Чадюк Вікторія Ігорівна

Керівник: канд. біол. наук, доцент Явнюк Андріан Андріанович

Нормоконтролер: _____ Андріан ЯВНЮК

КИЇВ 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

Спеціальність, освітньо-професійна програма: спеціальність 101 «Екологія»,
ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Тамара ДУДАР

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Чадюк Вікторії Ігорівни

1. Тема кваліфікаційної роботи «Еколого-економічні збитки від танення арктичних льодовиків »затверджена наказом ректора від «03» квітня 2024 р. № 504/ст.
2. Термін виконання роботи: з 20.05.2024 р. по 11.06.2024 р.
3. Вихідні дані роботи: літературні джерела, методичні матеріали, що пов'язані з даною темою.
4. Зміст пояснювальної записки: ризики танення льодовиків, методики задля збереження льодовиків, економічна частка танення льодовиків.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, гістограми, рисунки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Видання завдання на виконання, робота над вступом	20.05.2024-21.05.2024	
2	Підготовка I розділу	22.05.2024-25.05.2024	
3	Підготовка II розділу	26.05.2024-28.05.2024	
4	Підготовка III розділу	29.05.2024-31.06.2024	
5	Підготовка IV розділу	01.06.2024-02.06.2024	
6	Передзахист	03.06.2024	
7	Підготовка до захисту	04.06.2024-10.06.2024	
8	Захист	11.06.2024	

7. Дата видачі завдання: «20» травня 2024 р

Керівник кваліфікаційної роботи:

(підпис керівника)

Андріан ЯВНЮК

Завдання прийняв до виконання:

(підпис випускника)

Вікторія ЧАДЮК

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Еколого-економічні збитки від танення арктичних льодовиків»: 57 с., 6 рис., 3 табл., 1 гістограма 77 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: процеси танення арктичних льодовиків.

Мета роботи: оцінити еколого-економічні збитки від танення арктичних льодовиків.

Методи дослідження: дистанційні, аналітичні, статистичні, розрахункові.

В бакалаврській роботі приведені стан та динаміка танення арктичних льодовиків за допомогою аналізу та статистичних оцінок досліджень вчених та державних структур. Проаналізована та порівняна економічна цінність льодовиків для різних країн світу. Розраховані всі ризики через танення льодовиків з динамікою процесів, які понесе за собою танення. В цій роботі також запропоновані способи порятунку льодовиків, проаналізовані вже діючі методики на державних рівнях.

ЛЬОДОВИКИ АРКТИКИ, ЕКОНОМІЧНИЙ ВПЛИВ ЛЬОДОВИКІВ НА СВІТ, РИЗИКИ ТАНЕННЯ, МЕТОДИКА ОХОРОНИ ЛЬОДОВИКІВ, КАНАДСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕКОСИСТЕМА.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЬОДОВИКІВ.....	9
1.1. Поняття льодовиків.....	9
1.1.1. Що таке льодовики?.....	9
1.1.2. Класифікація та функції льодовиків.....	9
1.2. Канадські льодовики, як природня одиниця.....	14
1.2.1. Опис льодовиків Канади.....	14
1.2.2. Екосистема канадських льодовиків.....	16
1.3. Вплив льодовиків на економіку.....	17
1.3.1. Економічна цінність льодовиків.....	17
1.3.2. Економічні збитки від танення льодовиків світу.....	19
1.4. Висновки до розділу.....	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛЬОДОВИКІВ.....	22
2.1. Перші дослідження льодовиків.....	22
2.1.1. Перші прояви уваги вчених до канадських льодовиків	22
2.1.2. Методи дослідження льодовиків.....	24
2.2. Стан канадських північних льодовиків.....	25
2.2.1. Процеси танення льодовиків Канади.....	26
2.2.2. Стан канадських північних льодовиків на даний момент.....	26
2.3. Очікування з приводу стану канадських льодовиків у майбутньому.....	28
2.3.1. Динаміка процесу танення канадських льодовиків.....	28
2.3.2. Прогнози стану півночі Канади в майбутньому.....	29
2.4. Висновки до розділу.....	30
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЦІННІСТЬ КАНАДСЬКИХ ЛЬОДОВИКІВ ТА	
ЗБИТКИ ВІД ЇХ ТАНЕННЯ	33
3.1. небезпека танення льодовиків.....	33

3.1.1. Залежність рівня моря від льодовиків.....	33
3.1.2. Невідомі мікроорганізми в льодовиках.....	35
3.2. Вплив льодовиків на економіку.....	37
3.2.1. Використання льодовиків на користь людині.....	37
3.2.2. Швидкість розвитку кризи після зникнення льодовиків.....	40
3.3. Висновки до розділу.....	43
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ ЗНИКНЕННЯ ЛЬОДОВИКІВ.....	44
4.1. Методи спасіння льодовиків нашого часу.....	44
4.1.1. Розробки порятунку льодовиків канадськими вченими.....	44
4.1.2. Дії запобігання, які вже відбуваються та мають результат.....	46
4.5. Висновки до розділу.....	49
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ	
ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

Актуальність теми. Танення льодовиків - дуже важлива і серйозна тема дослідження, яку неможливо переоцінити. Це явище обговорюється вже не перший рік, навіть за межами суто екологічних досліджень і науковців. Наскільки нам всім достовірно відомо, якщо конкретна екологічна тема не сходить з вуст людей абсолютно різних поглядів та професій по всьому світу, то це - серйозний тривожний дзвінок для замислення. І це дійсно так, адже льодовики мають функцію не тільки окремих екосистем для різноманітних живих організмів, вони також є дуже важливими складниками природнього циклу планети в цілому.

Танення льодовиків носить в собі дуже трагічний та руйнівний спектр подій в майбутньому. Найжахливішою частиною цього дійства є те, що це вже відбувається в реальному часі, а початок поклала саме рука людини.

Актуальність цієї теми полягає в дослідженні процесів танення льодовиків, аналізу динаміки, причин, оцінки стану ситуації на даний момент. Розглядання всіх питань і знаходження правильних відповідей. Також, не менш важливо, не тільки знайти причини і зробити дослідження, а й розрахувати майбутні дії, задля припинення жахливого процесу, підтримування нормального стану системи і, авжеж, усунення уже існуючих наслідків цієї глобальної катастрофи. Як було сказано вище, початок танення льодовиків дало людство, і тільки людство зможе виправити свої уже спричинені помилки. Також в роботі будуть розглянуті економічні збитки, які вже відомі та на які нам ще чекати в майбутньому, розрахунки та дії для усунення економічних втрат.

Мета і завдання виконання кваліфікаційної роботи.

Мета роботи – оцінити еколого-економічні збитки від танення арктичних льодовиків.

Завдання роботи:

1. Дослідити сучасний стан льодового покриву північних районів Канади.

2. Визначити основні причини та фактори, що впливають на процеси танення льодовиків.
3. Проаналізувати зміни біорізноманіття, стану екосистем та екологічної ситуації у полярних широтах в цілому.
4. Оцінити економічні наслідки, екологічні збитки, викликані таненням льодовиків.

Об'єкт дослідження – процеси танення арктичних льодовиків.

Предмет дослідження – екосистеми північних регіонів Канади.

Методи дослідження – дистанційні, аналітичні, статистичні.

Особистий внесок випускника: дистанційне оцінювання танення льодовиків на півночі Канади, аналіз методів впливу на ситуацію та економічні розрахунки.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЬОДОВИКІВ

1.1. Поняття льодовиків

1.1.1. Що таке льодовики?

Льодовик є невідомим, мабуть, тільки людям, що не мають доступу до засобів масової інформації і мешкають далеко за територією природнього розміщення крижаних гігантів. Але все ж, розглянемо, що таке льодовики, з наукової точки зору.

Льодовик - це природній об'єкт, який виник близько 2-2,5 мільярдів років тому. Переважна кількість льодовиків складається з: льодового покриву, шару снігу, різноманітних кам'яних порід, опадів, вулканічного пилу і, нерідко, вже відтанувшої води, яка омиває сам льодовик. Найбільшого розвитку, з точки зору розмірів і розповсюдження, льодовики набували в епохи льодовикових періодів, останній з яких закінчився лише 11 700 років тому. Зрівнюючи з тривалістю їх існування, як таких в цілому, здається, що не так і давно.

Льодовики, що залишились з того часу до нинішніх днів, розташовуються, в основному, в кліматичних поясах з переважно постійною мерзлотою або на вершинах гірських порід. В обох випадках основним критерієм продовження існування є підтримання мінусової температури в повітрі.

1.1.2. Класифікація і функції льодовиків

Льодовики можна поділити на декілька видів залежно від їхньої форми, розміру, місцезнаходження та інших характеристик. Основні типи льодовиків включають:

Континентальні льодовики: Ці льодовики покривають великі площі земної поверхні і є характерними для Антарктиди та Гренландії. Вони мають значну товщину,

досягаючи кількох кілометрів, і масу льоду в мільярдах тонн. Континентальні льодовики впливають на клімат та геологічну структуру підстилки.

Гірські льодовики: Ці льодовики утворюються в гірських районах і можуть бути знайдені у різних частинах світу, включаючи Альпи, Гімалайські гори та Анди. Вони можуть мати різну форму та розмір, від невеликих полярних калюж до великих льодових потоків.

Льодовики у льодовиках або льодовики-язики: Представляють собою тонкі та вузькі льодові потоки, які витягуються вниз по гірських долинах. Вони утворюються внаслідок накопичення снігу та льоду в вершинах гір, які потім спадають вниз у вигляді льодового потоку. Ці льодовики можуть бути дуже довгими і мати значну швидкість руху, що робить їх важливими елементами гірських екосистем.

Прибережні льодовики: Це льодові маси, які знаходяться на узбережжі та мають тенденцію до руху в напрямку моря. Вони можуть відокремлюватися від континентальних льодовиків або утворюватися внаслідок накопичення снігу на морському узбережжі.

Суцільні льодовики: Ці льодові маси характеризуються відсутністю розривів або водяних шарів, що робить їх однорідними за структурою. Вони можуть бути знайдені в континентальних або гірських регіонах.

Шельфові льодовики: Це великі льодові маси, які витягнуті в море від континентальних льодовиків. Вони рухаються на море, де плавають на воді. Шельфові льодовики можуть бути важливим джерелом льодяної води для океанів і можуть впливати на рівень моря при їх таненні.

Наймасштабнішим видом льодовиків вважається саме полярна шапка, яка є підвидом виду континентальних льодовиків. За ним слідують гірські льодовики, льодовики у льодовиках, прибережні, суцільні та шельфові льодовики (табл 1.1.)

Таблиця 1.1

Різновидність льодовиків та їх відсоткове співвідношення

Вид льодовика	Відсоткове співвідношення за площею
Полярні шапки	40%
Гірські льодовики	25%
Льодовики у льодовиках	15%
Прибережні льодовики	10%
Суцільні льодовики	5%
Шельфові льодовики	5%

Розглянемо саме функції льодовиків.

Льодовики є елементом земної поверхні, який виконує ряд важливих функцій для екосистем та геологічних процесів. Основні функції льодовиків включають:

Зберігання води: Льодовики відіграють важливу роль у збереженні прісної води і водних ресурсів у світі. Вони є великими резервуарами прісної води, яка утримується у вигляді льоду, особливо у високогірних регіонах та полярних областях. Танення льодовиків впливає на рівень водних ресурсів у річках, струмках та озерах, особливо в періоди засухи або недостатнього опадів, коли вони можуть стати важливим джерелом води для людей, тварин і рослин.

Прісна вода, що виходить з льодовиків, має високу якість і чистоту, оскільки вона фільтрується через гірські породи та льодові маси. Ця вода може містити корисні мінерали та мікроелементи, які можуть бути важливими для здоров'я людини та екосистем. Крім того, льодовики можуть бути джерелом питної води для населення, особливо в гірських регіонах, де інші джерела води обмежені.

Моделювання ландшафту: Льодовики є ключовими агентами у формуванні ландшафту через процеси ерозії та акумуляції матеріалів. Під час свого руху льодовики здатні збирати великі маси каміння, ґрунту та інших матеріалів, які потрапляють на їх шлях.[1] Ці матеріали можуть бути перевезені на великі відстані і, у результаті, призводити до формування долин, озер, ущелин та інших геологічних

форм.

Уздовж свого шляху льодовики можуть вирізати глибокі долини, які називаються льодовиковими долинами (рис.1.1.1). Ці долини мають характерну форму, яка виникає внаслідок руху льодовика та його впливу на навколишній ґрунт. Коли льодовик рухається вниз по схилу, він може вибрати глибоку ущелину, яка залишиться після танення льоду, утворюючи вражаючі льодовикові долини.

Льодовики також можуть утворювати озера, коли танення льоду утворює глибокі ями, які заповнюються водою. Ці льодовикові озера можуть бути дуже великими та мають унікальну географію через специфічний спосіб утворення (рис.1.2.).

Таким чином, льодовики відіграють важливу роль у формуванні ландшафту через свою здатність до ерозії та акумуляції матеріалів, що призводить до утворення різноманітних геологічних форм.[2]

Вплив на клімат: Льодовики мають значний вплив на клімат земної поверхні. Одним з ключових аспектів їх впливу є відбивання сонячного випромінювання. Оскільки льодовики мають високий альbedo*, вони відбивають велику кількість сонячної енергії назад у космос. Це може мати вплив на місцеві та глобальні кліматичні умови, змінюючи розподіл тепла на поверхні Землі[3].

Крім того, льодовики можуть викидати в атмосферу льодяний пил. Цей пил може мати вплив на хмароутворення та атмосферну циркуляцію, що також може впливати на клімат. Наприклад, льодовики можуть впливати на формування альbedo атмосфери, що в свою чергу може впливати на розподіл тепла та вологості в атмосфері.

Зберігання археологічних слідів: Льодовики є унікальними архівами, які зберігають в собі важливі дані про минуле. У них можуть знаходитися різні сліди давніх цивілізацій, такі як артефакти, будівлі та інші залишки, що датуються на тисячоліття. Наприклад, у льодовиках Альп виявлені дерев'яні об'єкти, такі як візки і меблі, що датуються близько 4000 років тому, що вказує на наявність там давніх поселень. Ці артефакти допомагають вивчати історію та культуру давніх цивілізацій,

розкриваючи їхні технології та способи життя.[4]

Крім того, льодовики також містять геологічні матеріали, які датуються на тисячоліття і можуть бути важливими для вивчення історії Землі. Ці матеріали включають льодяні ядра, які містять інформацію про склад атмосфери в минулому, а також геологічні відкладення, які можуть розкривати історію кліматичних змін та природних катаклізмів.

Біорізноманіття: Льодовики, незважаючи на екстремальні умови, є унікальними екосистемами, де можна знайти різноманітні організми, які адаптувалися до життя в холодних умовах. Серед них важливе місце посідають мікроорганізми, такі як бактерії, гриби та водорості. Вони виконують ряд важливих функцій у льодових екосистемах.

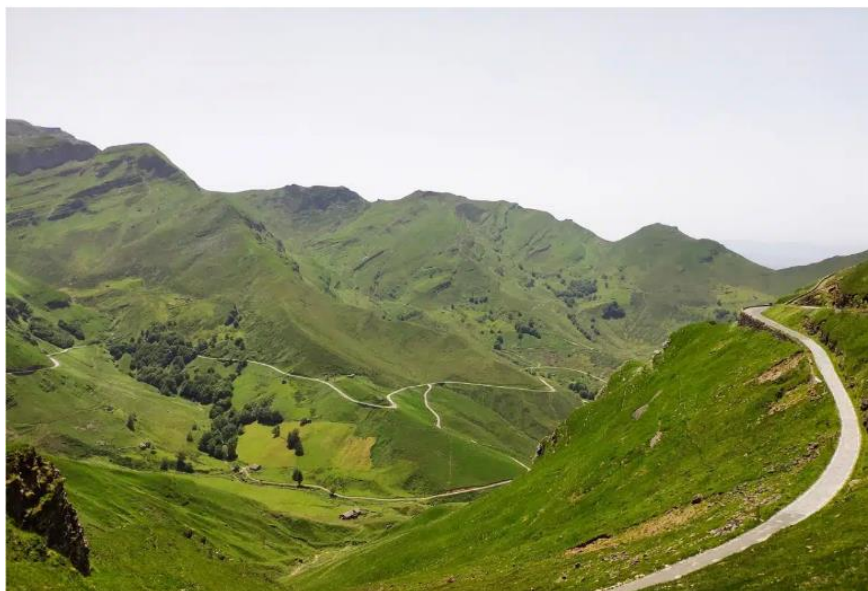


Рис. 1.1. Приклад льодовикової долини



Рис.1.2. Приклад льодовикового озера

1.2. Канадські льодовики, як природня одиниця

1.2.1. Опис льодовиків Канади

Канадські льодовики є важливими компонентами країни і відіграють визначальну роль у гідрологічних, екологічних та кліматичних процесах регіону. Розташовані вони переважно у північних територіях країни, а саме на островах Королеви Єлизавети, острові Баффін та острові Байлот, який у зимовий час вкривається снігом та льодом абсолютно повністю, а от влітку лишаються тільки льодовики, які створюють контраст на фоні озеленених ділянок (рис.1.3.)[5]. Також зустрічають льодовики і у гірських районах Британської Колумбії та Альберти (рис.1.4.). Деякі з найбільших канадських льодовиків включають Коламбіа, Шаблі та Атабаска у гірських регіонах, а також льодовики на півночі, такі як льодовики Акшін та Лангер[6]. Канадські льодовики мають різні форми та розміри, від великих льодових покривів до гірських льодовиків та льодових полярних шапок.

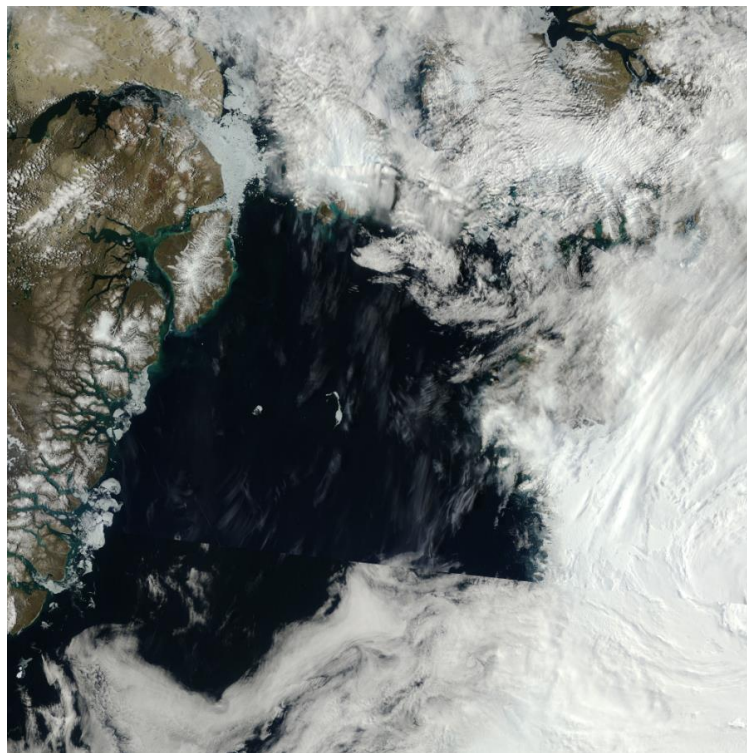
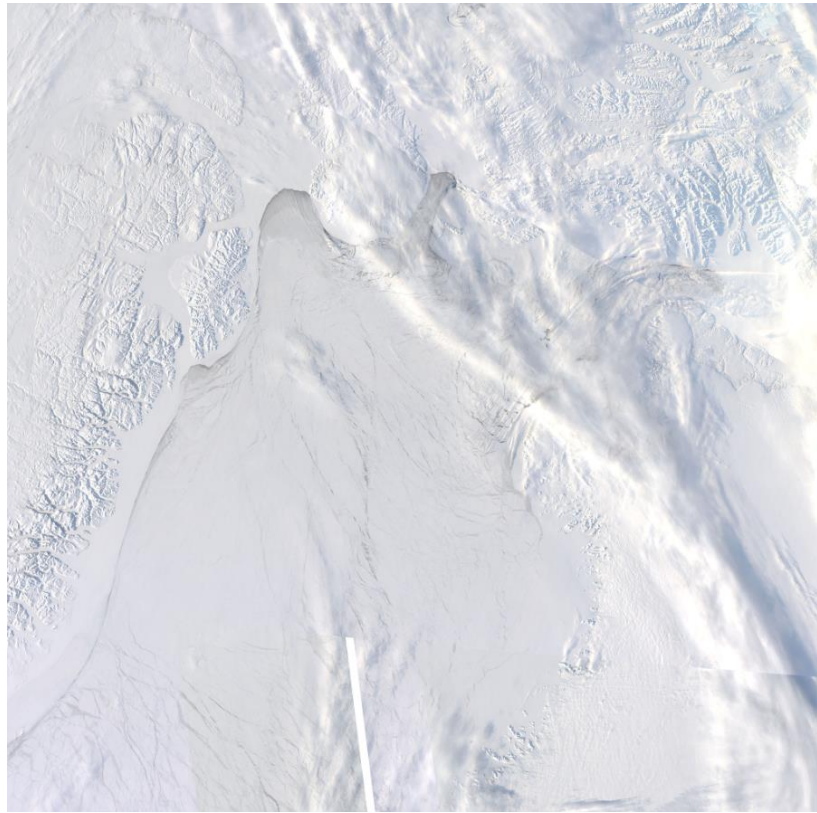


Рис 1.3. Зображення, отримані з NASA Terra. Зліва знімок зроблений у березні 2012 року, справа у липні 2012 року.

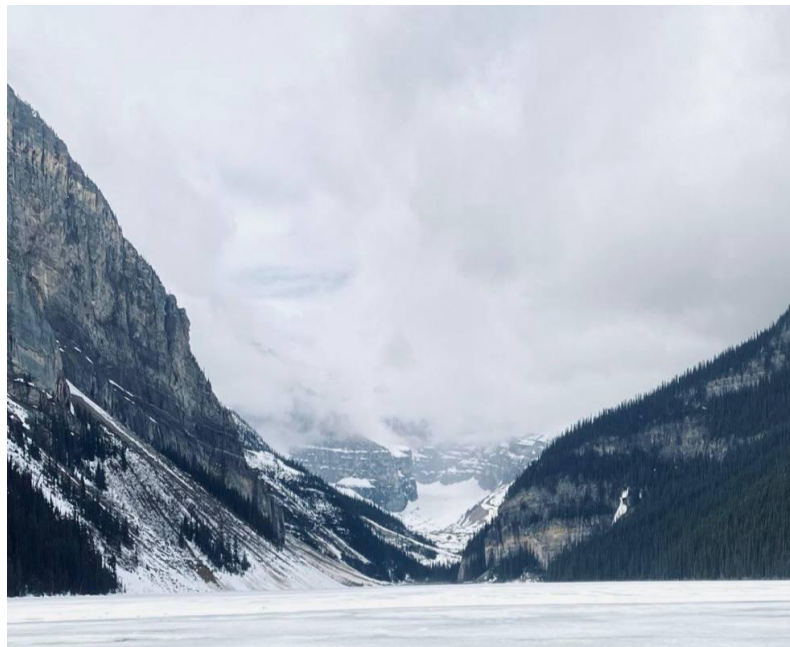


Рис. 1.4. Фото з особистого архіву. Національний парк Банф (Banff National Park), Альберта.

1.2.2. Екосистема канадських льодовиків

Льодовики у Канаді створюють унікальні екосистеми, які відіграють важливу роль у підтримці біорізноманіття та екологічної стійкості. Ці екосистеми мають складну структуру і включають в себе різноманіття рослин, тварин та мікроорганізмів, які адаптувалися до екстремальних умов, що панують на льодовиках.

Рослинність на льодовиках представлена переважно мохами (наприклад, роди *Polytrichum* та *Bryum*) та лишайниками (наприклад, роди *Cladonia* та *Usnea*)[7], адже деякі види мохів можуть зберігати воду і утримувати її від випаровування, що дозволяє їм виживати в умовах низької вологості. Лишайники ж мають спеціальні пігменти, що захищають їх від ультрафіолетового випромінювання. Також зустрічаються криофільні рослини, які мають спеціальні адаптації до низьких температур і обмеженого доступу до ґрунтової води, криофільні бактерії (наприклад, роди *Psychrobacter* та *Colwellia*)[8]. Не є винятком і альпійські рослини (наприклад, *Arabis alpina* та *Silene acaulis*), які можна знайти у високогір'ї Канади, вони можуть рости біля льодовиків або на їхній поверхні.

Тваринний світ на льодовиках також досить різноманітний. Деякі види комах та павукоподібних можуть витримувати низькі температури та періодичні заморожування, завдяки спеціальним антифризним речовинам у своїх тілах. На льодовиках можна знайти також певні види птахів, наприклад, снігурів та мартинок, які адаптувалися до життя в умовах льодовиків[9]. Великі тварини також зустрічаються, такі як: бізони, мускусні воли, лосі, снігові кози, козулі, гірські кози, великорогі вівці і, звісно ж, полярні ведмеді. Останніх можна зустріти вздовж північного узбережжя Ньюфаундленду і Лабрадору.

Усі ці складові створюють складну взаємозв'язану мережу в екосистемі льодовиків, яка є важливим елементом біорізноманіття Канади та світового значення. Збереження цих екосистем є важливим завданням для збереження природної різноманітності та екологічної стійкості планети.

1.3. Вплив льодовиків на економіку

1.3.1. Економічна цінність льодовиків

Льодовики є важливими природними ресурсами, що мають значну економічну цінність через їхній вплив на різні сектори економіки, такі як гідроенергетика, сільське

господарство, туризм та інфраструктура. Вони забезпечують постійний потік прісної води, є джерелом енергетичних ресурсів, та приваблюють туристів, що сприяє розвитку місцевих економік.

Гідроенергетика

Льодовики є важливим джерелом води для гідроелектростанцій. Під час танення льодовиків, вода, що звільняється, використовується для генерації електроенергії. У багатьох країнах, таких як Норвегія, Канада та Швейцарія, гідроелектростанції залежать від стабільного постачання води, що походить від льодовиків. Економічна вартість цього ресурсу вимірюється у мільярдах доларів щорічно.

Сільське господарство

Льодовики також відіграють ключову роль у забезпеченні водою для сільськогосподарських потреб. Вода, що тоне з льодовиків, використовується для іригації полів, особливо у посушливих регіонах. У таких країнах, як Індія та Пакистан, льодовикові води є критичним джерелом для зрошення сільськогосподарських угідь, що дозволяє підтримувати врожайність і стабільність продовольчого забезпечення [11].

Туризм

Туризм, пов'язаний з льодовиками, приносить значні доходи місцевим громадам. Льодовики приваблюють туристів, які бажають побачити їхню красу, займатися альпінізмом, лижним спортом та іншими видами активного відпочинку. У таких країнах, як Швейцарія, Ісландія та Непал, туризм, пов'язаний з льодовиками, приносить мільйони доларів до національної економіки [12].

Інфраструктура

Льодовики впливають на розвиток інфраструктури, оскільки танення льодовиків може викликати підняття рівня води в річках та озерах, що потребує відповідних інфраструктурних рішень для захисту від повеней та ерозії. Це включає будівництво дамб, водосховищ та інших інженерних споруд, які також мають економічну вартість [13].

Отже, льодовики мають величезну економічну цінність для багатьох секторів економіки. Вони забезпечують стабільне постачання води для гідроенергетики та сільського господарства, приваблюють туристів і впливають на розвиток інфраструктури. (Детальніше всі суми будуть розглянуті в пункті 3.2.1.). Враховуючи економічну важливість льодовиків, їхнє танення може мати серйозні наслідки для світової економіки. Тому необхідно вживати заходів для збереження льодовиків та зменшення впливу зміни клімату на їхній стан.

1.3.2. Економічні збитки від танення льодовиків світу.

Як уже роз'яснено вище, льодовики є вагомою частиною економіки світу. Розглянемо які економічні збитки може потягти за собою танення льодовиків.

Перш за все, на економічну складову дуже вплине саме зміна рівня моря. Острови, прибережні країни, в більшості, підтримують свій ВВП завдяки туризму, а в основному - пляжному відпочинку. Такі країни як Домініканська Республіка, Мальдіви, Мальта, Таїланд, Індонезія та Іспанія понесуть чималі економічні збитки саме через затоплення територій і пошкодження інфраструктури, як наслідок.

Розрахунки про екстремальне підвищення моря, через повне танення льодовиків приведено в пункті 3.1.1., а зараз розглянемо саме ризики.

Підвищення рівня моря може мати серйозні наслідки для водних ресурсів та галузей, які залежать від них, включаючи водопостачання та сільське господарство:

Водопостачання: Підвищення рівня моря може призвести до засолення прісних підземних вод, що використовуються для водопостачання. Це може призвести до зменшення доступності питної води для місцевих споживачів.

Сільське господарство: Зміни в доступності прісної води можуть вплинути і на сільське господарство. Засолення ґрунтових вод може знизити урожайність культур та зменшити врожай. Крім того, зміни в рівні моря можуть також вплинути на доступність води для іригації.

Інші галузі: Підвищення рівня моря може також вплинути на інші галузі, які

залежать від водних ресурсів, такі як транспорт, енергетика та промисловість. Затоплення узбережжя, як уже було згадано вище, може пошкодити інфраструктуру, таку як порти та мости, що може вплинути на транспорт та постачання товарів. Крім того, зміни в рівні моря можуть вплинути на роботу гідроелектростанцій та інших енергетичних споруд.

Не менш важливо, що танення льодовиків може призвести до втрати унікальних видів, які адаптувалися до умов життя на льодовиках. Очевидно, що адаптовані до вічної мерзлоти організми, не зможуть продовжувати існування при вищій температурі повітря. Зникнуть цілі екосистеми, неймовірно важливі для нашої планети, адже в світі, як відомо, все тримається суцільним ланцюжком, а якщо прибрати хоча б один елемент, ланцюг не зможе підтримувати своє існування в повній мірі. Стосується це економіки світу також дуже сильно. На підтримання видів, що на межі зникнення через танення льодовиків, виділяються величезні кошти, що впливово зрушують з місця показники економіки.

1.4. Висновки до розділу 1

Отже, спираючись на весь матеріал, викладений вище в першому розділі, можна зробити висновок, що танення льодовиків є масштабною і глобальною проблемою людства. Ризики дуже серйозні, а наслідки безповоротні.

Льодовики, як ключові складові глобальної кліматичної системи, є індикатором кліматичних змін і одночасно важливим фактором їх модифікації. Прискорене танення льодовиків, викликане головним чином глобальним потеплінням, вже має серйозний вплив на рівень морів, гідрологічний цикл, біорізноманіття та соціоекономічну сферу.

Одним з головних наслідків танення льодовиків є підвищення рівня морів, що може призвести до затоплення узбережжя та широкомасштабних переселень людей. Це може стати причиною значних втрат в економіці, зокрема, втрат сільськогосподарських угідь, порушення екосистем та загрози для інфраструктури. Також важливо враховувати вплив танення льодовиків на водні ресурси, зокрема на

доступ до питної води та зрошення для сільського господарства.

Крім того, танення льодовиків може вплинути на туризм, оскільки багато туристичних об'єктів знаходяться в регіонах, де розташовані льодовики. Зміни в ландшафті та пейзажі можуть вплинути на привабливість цих місць для туристів та призвести до втрат в туристичній галузі.

Загалом, танення льодовиків є серйозною загрозою, яка вимагає негайних заходів на всіх рівнях, від глобальних до місцевих. Розвиток стратегій адаптації до зміни клімату та зменшення викидів парникових газів є важливими кроками у збереженні льодовиків і мінімізації їх впливу на людство.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛЬОДОВИКІВ

2.1. Перші дослідження льодовиків

2.1.1. Перші прояви уваги вчених до канадських льодовиків
Перші наукові дослідження канадських льодовиків розпочалися в 19 столітті і продовжувалися з різною інтенсивністю протягом 20 століття. Ці дослідження стали основою для подальшого розуміння льодовикових процесів і їхнього впливу на навколишнє середовище.

19 століття

Перші дослідники та картографи:

Одними з перших дослідників, які звернули увагу на льодовики Канади, були британські та канадські картографи і геологи. Одним з таких дослідників був Джон Паллісер, який провів кілька експедицій у Скелясті гори з 1857 по 1860 роки. Він описав кілька льодовиків та їхнє оточення. Звіти Паллісера містили важливу інформацію про географію і геологію цього регіону [14].

Геологічна служба Канади (Geological Survey of Canada, GSC):

У 1842 році було створено Геологічну службу Канади, яка розпочала систематичне дослідження геології країни, включаючи льодовики. Альфред Річард Селлінгер, один з перших директорів GSC, активно сприяв дослідженню льодовикових ландшафтів. Наприкінці 19 століття звіти GSC містили опис льодовиків та їх геологічних характеристик [15].

Початок 20 століття

Дослідження Альберта Фолкнера:

У 1910-1920-х роках канадський геолог Альберт Фолкнер проводив дослідження

льодовиків на західному узбережжі Канади, особливо в районі Скелястих гір та узбережжя Британської Колумбії. Його робота включала опис кількох великих льодовиків і аналіз їхньої динаміки [16].

Перші наукові експедиції:

У 1920-х та 1930-х роках відбулися кілька спеціалізованих наукових експедицій, які досліджували льодовики в Канаді. Експедиція під керівництвом Артура Ферфілда у 1926 році досліджувала льодовики в районі Скелястих гір і надала важливі дані про фізичні характеристики цих льодовиків [17].

Середина 20 століття

Інтенсифікація досліджень:

Після Другої світової війни дослідження льодовиків стали більш інтенсивними завдяки новим технологіям та методам. Геологи, гляціологи та кліматологи почали використовувати аерофотозйомку, радіовимірювання та інші сучасні методи для вивчення льодовиків. Це дозволило отримати більш детальні дані про динаміку льодовиків та їх зміни у часі.

Участь міжнародних наукових організацій:

У цей період канадські вчені почали активно співпрацювати з міжнародними організаціями, такими як Міжнародний союз геодезії та геофізики (IUGG) та Міжнародна асоціація з криології (IACS). Ця співпраця сприяла обміну знаннями та досвідом у сфері гляціології та підвищила рівень досліджень канадських льодовиків [18].

Кінець 20 століття та початок 21 століття

Сучасні дослідження:

Сьогодні канадські льодовики є об'єктом численних досліджень, спрямованих на розуміння їхнього впливу на глобальне потепління, гідрологічні системи та екосистеми. Сучасні технології, такі як супутникові знімки та дистанційне зондування, дозволяють отримувати детальні дані про динаміку льодовиків. Ці дослідження є критично важливими для прогнозування змін у рівні моря та інших глобальних кліматичних змін.

Внесок у глобальне розуміння кліматичних змін:

Дані, отримані від вивчення канадських льодовиків, використовуються для створення глобальних моделей кліматичних змін. Вчені використовують ці дані для прогнозування майбутніх змін рівня моря, впливу на водні ресурси та інших екологічних аспектів. Таким чином, канадські льодовики є важливим джерелом інформації для розуміння глобальних кліматичних процесів.

2.1.2. Методи дослідження льодовиків

19 століття

Візуальні спостереження та польові нотатки:

У 19 столітті дослідження льодовиків здебільшого базувалися на візуальних спостереженнях та польових нотатках. Перші дослідники, такі як Джон Паллісер, записували свої спостереження про льодовики та оточуючі ландшафти у своїх журналах та звітах [19]. Вони проводили базові вимірювання, використовуючи компаси, секстанти та лінійки для оцінки розмірів і форм льодовиків.

Картографія:

Картографія відігравала важливу роль у ранніх дослідженнях льодовиків. Дослідники створювали карти, які відображали розташування та масштаби льодовиків. Наприклад, Паллісер та його колеги використовували ручні інструменти для створення топографічних карт, що допомагало візуалізувати географічні особливості льодовикових районів [20].

Початок 20 століття

Геологічні дослідження:

На початку 20 століття геологи, такі як Альберт Фолкнер, почали використовувати більш систематичні методи дослідження льодовиків. Вони збирали зразки льоду та порід, проводили хімічний аналіз для визначення складу та походження льодовикових відкладів. Це дозволило краще зрозуміти процеси формування та руху льодовиків [21].

Фотографічна документація:

Впровадження фотографії стало важливим інструментом для дослідження льодовиків. Вчені використовували камери для документування змін у розмірах та формі льодовиків протягом часу. Це дозволяло проводити порівняльний аналіз і виявляти динаміку льодовиків.

Середина 20 століття

Аерофотозйомка:

Середина 20 століття ознаменувалася впровадженням аерофотозйомки. Використання літаків для зйомки льодовиків з повітря дозволило отримувати детальні зображення великих льодовикових площ. Це дало можливість проводити більш точні вимірювання та картографування льодовиків.[22]

Геофізичні методи:

У цей період вчені почали використовувати геофізичні методи, такі як радіовимірювання та сейсмічні дослідження, для вивчення структури льодовиків. Радіовимірювання дозволяли визначати товщину льоду, а сейсмічні методи використовувалися для вивчення льодовикового ложа та внутрішньої структури льодовиків.

Кінець 20 століття та початок 21 століття

Супутникове зондування:

Супутникові технології стали революційними для дослідження льодовиків. Супутники, обладнані спеціалізованими датчиками, дозволяли отримувати детальні зображення та дані про льодовики в режимі реального часу. Це дало можливість відстежувати зміни у льодовиках на глобальному рівні та робити точні прогнози [23].

Дистанційне зондування та лазерне сканування:

Використання лазерного сканування та інших методів дистанційного зондування дозволило проводити високоточні вимірювання змін у товщині та об'ємах льодовиків. Ці методи також дозволяли вивчати зміни поверхневих характеристик льодовиків та їхньої динаміки [24].

2.2. Стан канадських північних льодовиків

2.2.1. Процеси танення льодовиків Канади

Процеси танення льодовиків Канади є складним і багатофакторним явищем, що охоплює зміни клімату, температурні коливання, океанічні впливи та антропогенні фактори. Спостереження за таненням льодовиків Канади почалося ще в 19 столітті, але інтенсивні наукові дослідження та моніторинг розпочалися лише у другій половині 20 століття.

Початок спостережень

Перші систематичні спостереження за льодовиками Канади були проведені канадськими та міжнародними вченими в 19 столітті. Відомий геолог Джордж Мерсер Доусон (George Mercer Dawson) у 1883 році здійснив експедицію до Скелястих гір, де він вперше задокументував танення льодовиків та їхні зміни [25]. Його роботи створили основу для подальших детальних досліджень.

Важливі дослідження та події

У 1980-х роках були проведені важливі дослідження, що показали значне скорочення льодовиків. Одним з таких досліджень було спостереження за льодовиком Атабаска, розташованим у національному парку Джаспер, яке показало зменшення його товщини на 25% протягом 30 років [26].

Використання LiDAR та інших сучасних технологій

У 21 столітті були впроваджені нові методи, такі як лазерне сканування (LiDAR) та радіолокаційні системи, що дозволяють отримувати високоточні тривимірні моделі льодовиків. Ці методи забезпечують точні вимірювання змін у льодовиковій масі та структурі [27].

2.2.2. Стан канадських північних льодовиків на даний момент

Сучасні дослідження показують, що канадські північні льодовики продовжують зазнавати значного танення. Це підтверджується численними науковими

дослідженнями, зокрема, програмами World Glacier Monitoring Service (WGMS) та інших міжнародних організацій.

Поточний стан

Відповідно до останніх даних WGMS, льодовики Канадського Арктичного архіпелагу втратили приблизно 20% своєї маси за останні 50 років. Основні причини включають підвищення температур повітря та води, а також зміни у режимах опадів [28]. Сучасні спостереження, проведені за допомогою супутникових місій GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), показують, що середня товщина льодовиків зменшується на 30-50 см на рік [29].

Технічні аспекти досліджень

Сучасні методи дослідження включають використання супутників, таких як Landsat та Sentinel, для отримання точних даних про зміни у площі та обсязі льодовиків. Лазерне сканування (LiDAR) та гравіметричні вимірювання забезпечують високоточні дані про зміни у масі льодовиків. Також застосовуються методи радіовимірювань та сейсмічні методи для вивчення внутрішньої структури льодовиків [30].

Як і багато льодовиків у світі, льодовики Канади не відповідають поточним кліматичним умовам і продовжуватимуть втрачати масу в осяжному майбутньому (гістограма 2.1.). Літнє потепління в Арктиці призвело до різкого танення крижаних шапок і льодовиків за останні два десятиліття, в результаті чого цей регіон став найзначнішим кріосферним фактором глобального підвищення рівня моря після Гренландського і Антарктичного крижаних щитів.

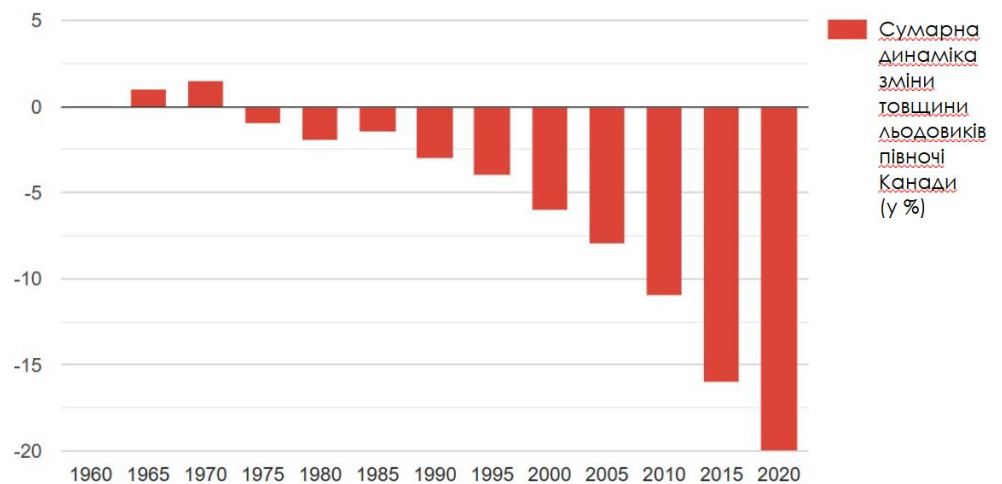


Рис. 2.1. Динаміка зміни товщини льодовиків

2.3. Очікування з приводу стану канадських льодовиків у майбутньому

2.3.1. Динаміка процесу танення канадських льодовиків

Дослідження льодовиків у Канаді показують, що ці важливі геологічні утворення стикаються зі значними викликами в умовах зміни клімату (рис. 2.2.). У майбутньому очікується, що процеси танення льодовиків тільки посиляться, що матиме серйозні наслідки для екологічних систем, гідрологічних процесів та людської діяльності в регіоні.

Протягом останніх десятиліть було зафіксовано істотне скорочення льодовиків у Канаді. На основі даних супутникових спостережень і польових вимірювань, дослідження показали, що швидкість танення льодовиків значно збільшилася з кінця 20-го століття. Наприклад, дослідження, проведене Gardner et al. (2013), показало, що льодовики на заході Канади втратили в середньому близько 1,4 гігатонн льоду щорічно з 2003 по 2009 роки [31].

Одним з важливих факторів, що впливають на динаміку танення, є підвищення середньої річної температури повітря. Збільшення кількості теплих днів і зменшення кількості днів із сніговим покривом сприяють прискоренню процесу танення. Зокрема,

льодовик Пейто, розташований у національному парку Банф, скоротився на 70% з початку 20-го століття, і дослідження вказують, що ця тенденція продовжуватиметься [32].

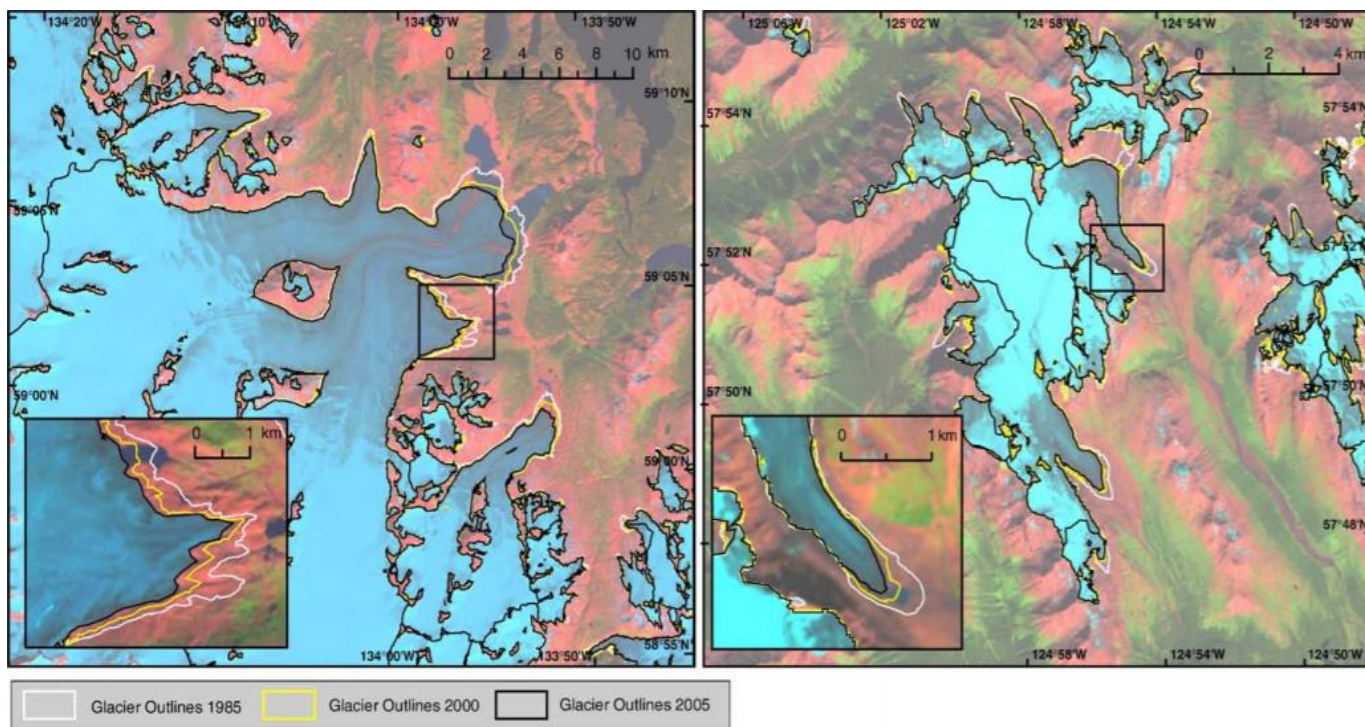


Рис. 2.1. Динаміка процесу танення льодовиків у Канаді з 1985 по 2005 роки, за даними Landsat-derived glacier inventory for western Canada [33]

2.3.2. Прогнози стану півночі Канади в майбутньому

Прогнозування майбутнього стану канадських льодовиків є важливим для розуміння потенційних екологічних і соціально-економічних наслідків. Науковці використовують кліматичні моделі, щоб передбачити, як зміниться льодовиковий покрив у відповідь на різні сценарії зміни клімату (рис.2.2.)

Згідно з прогнозами, навіть при обмеженні глобального потепління на рівні 1,5°C згідно з Паризькою угодою, льодовики Канади продовжуватимуть втрачати масу. За оцінками, до кінця 21-го століття, площа льодовиків у Західній Канаді може зменшитися на 50-70%, що призведе до значного зменшення запасів прісної води в регіоні [34].

Зменшення льодовиків також впливатиме на річкові системи, зокрема на об'єм води в річках, що живляться льодовиками. Це матиме наслідки для водопостачання, сільського господарства та гідроенергетики. Окрім цього, зменшення льодовикового покриву спричинить підвищення рівня світового океану, що може мати глобальні наслідки [35].

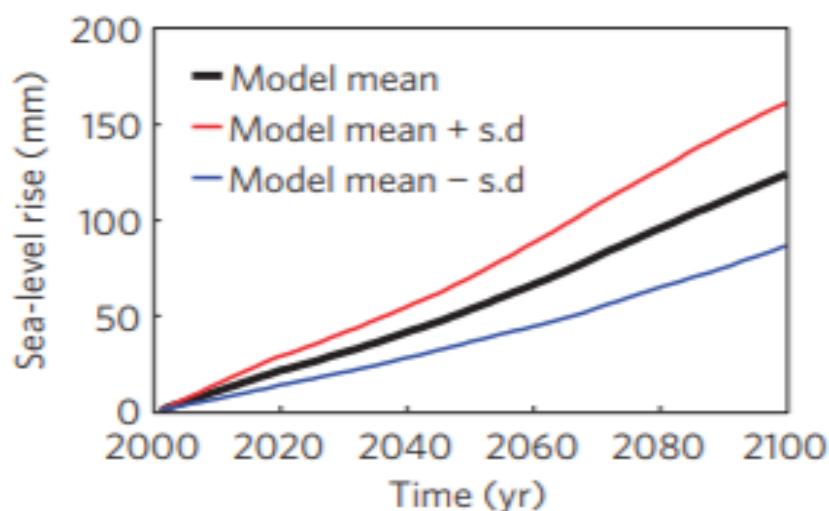


Рис. 2.2. Прогноз стану льодовиків Канади на період до 2100 року за різними сценаріями зміни клімату [36]. Чорна лінія всередині позначає модельне середнє значення з 10 GCM (global climate models / глобальні кліматичні моделі), Червона - модельне середнє значення + стандартне відхилення, а синя - модельне середнє значення-стандартне відхилення

Відповідно до цих даних, необхідно продовжувати моніторинг льодовиків та розробляти адаптаційні стратегії для зменшення негативних наслідків кліматичних змін на льодовикові системи та залежні від них екосистеми.

2.4. Висновки до розділу 2

Процеси танення льодовиків у Канаді демонструють тривожні тенденції, що посилюються через зміну клімату. Спостереження за льодовиками, такі як дослідження льодовика Атабаска, показали значне скорочення їхньої маси та площі за

останні десятиліття. Ці процеси мають суттєві наслідки для гідрологічних систем, оскільки льодовики відіграють важливу роль у підтримці стабільного водопостачання.

Перші систематичні дослідження канадських льодовиків розпочалися у 19 столітті. Важливий вклад вивчення льодовиків зробили такі дослідники, як Джордж Мерсер Доусон та Альфред Габріель, які провели перші польові експедиції та створили детальні карти. Вже в 20 столітті розвиток технологій, зокрема аерофотозйомки, дозволив більш точно вимірювати площу і масу льодовиків. У 1980-х роках були проведені важливі дослідження, що показали значне скорочення льодовиків. Одним з таких досліджень було спостереження за льодовиком Атабаска, розташованим у національному парку Джаспер, яке показало зменшення його товщини на 25% протягом 30 років .

Дослідження 1980-х років продемонстрували значне скорочення льодовиків Канади. Одним із таких досліджень було спостереження за льодовиком Атабаска, розташованим у національному парку Джаспер, яке показало зменшення його товщини на 25% протягом 30 років . Це дослідження підкреслило важливість регулярного моніторингу та детального вивчення льодовиків для розуміння довготривалих змін у їхньому стані.

Сучасні дослідження продовжують показувати прискорення танення льодовиків у Західній Канаді, спричинене підвищенням середніх температур повітря та зменшенням кількості днів із сніговим покривом . Це явище підтверджується численними науковими дослідженнями та спостереженнями з використанням сучасних технологій, таких як супутникові знімки та моделі клімату .

Прогнози на майбутнє не є оптимістичними. Навіть за умов досягнення цілей Паризької угоди, значна частина льодовиків може зникнути до кінця 21-го століття . Це матиме серйозні наслідки для екосистем, водопостачання та рівня моря. Зменшення льодовикового покриву вже зараз впливає на річкові системи, що призводить до зменшення об'ємів води в річках, з яких залежить водопостачання, сільське господарство та гідроенергетика .

Для зменшення негативних наслідків необхідно продовжувати моніторинг

льодовиків та розробляти адаптаційні стратегії. Важливим є міжнародне співробітництво та застосування сучасних технологій для отримання точних даних та прогнозів, що дозволить ефективно реагувати на виклики, пов'язані з таненням льодовиків .

РОЗДІЛ 3

ЕКОНОМІЧНА ЦІННІСТЬ КАНАДСЬКИХ ЛЬОДОВИКІВ ТА ЗБИТКИ ВІД ЇХ ТАНЕННЯ

3.1. Небезпека танення льодовиків

3.1.1. Залежність рівня моря від льодовиків

Танення льодовиків є однією з найсерйозніших екологічних проблем, з якими стикається сучасне суспільство. Цей процес має декілька небезпечних наслідків, включаючи підвищення рівня моря та вивільнення невідомих мікроорганізмів, які були заховані в льоді протягом тисячоліть.

Льодовики є однією з головних природних резервуарів прісної води на планеті. Танення льодовиків безпосередньо впливає на підвищення рівня моря, що є критичною загрозою для прибережних районів і низькорозташованих островів.

Згідно з дослідженням Gardner et al. (2013), канадські льодовики значно сприяли підвищенню рівня моря у період з 2003 по 2009 роки. Зокрема, втрати маси льодовиків Західної Канади становили приблизно 30% від загальної втрати маси льодовиків у світі за цей період [37]. Такі результати підкреслюють важливість канадських льодовиків у глобальному контексті (табл. 3.1.).

Інші дослідження показують, що якщо танення льодовиків продовжиться з поточною швидкістю, рівень моря може піднятися на 60 см до кінця 21-го століття, що матиме катастрофічні наслідки для прибережних міст та інфраструктури [38]. Підвищення рівня моря також збільшить ризик затоплення, ерозії берегів та втрати продуктивних земель.

Танення льодовиків значно впливає на підвищення рівня моря. Льодовики містять

величезні об'єми води, і коли вони тануть, ця вода додається до океанів, піднімаючи рівень моря. Для того щоб зрозуміти, як танення льодовиків впливає на рівень моря, можна провести деякі математичні розрахунки.

Таблиця 3.1.

Втрати маси льодовиків Канади у період з 2003 по 2009 роки

Регіон	Втрата маси (Гт/рік)
Західна Канада	30
Східна Канада	5
Північна Канада	10

Розрахунок підвищення рівня моря, в результаті повного танення льодовиків Гренландії і Антарктиди

Вихідні дані

Об'єм льоду в льодовиках Гренландії: приблизно 2.85 мільйона кубічних кілометрів (км³).

Об'єм льоду в льодовиках Антарктиди: приблизно 26.5 мільйона кубічних кілометрів (км³).

Загальна площа світового океану: приблизно 361 мільйон квадратних кілометрів (км²).

Щільність льоду: 920 кг/м³.

Щільність води: 1000 кг/м³.

Розрахунки

1. Перетворення об'єму льоду в об'єм води: Коли лід тоне, його об'єм зменшується через те, що щільність льоду менша, ніж щільність води. Тому, щоб знайти об'єм води, яку утворює танення льоду, потрібно помножити об'єм льоду на коефіцієнт перетворення.

$$\text{Коефіцієнт перетворення} = \frac{\text{Щільність льоду}}{\text{Щільність води}} \quad (3.1)$$

$$\frac{920}{1000} = 0.92$$

2. Об'єм води від танення льодовиків Гренландії:

$$2.85 \text{ млн. км}^3 \times 0.92 = 2.622 \text{ млн. км}^3$$

3. Об'єм води від танення льодовиків Антарктиди:

$$26.5 \text{ млн. км}^3 \times 0.92 = 24.38 \text{ млн. км}^3$$

4. Загальний об'єм води:

$$2.622 \text{ млн. км}^3 + 24.38 \text{ млн. км}^3 = 27.002 \text{ млн. км}^3$$

5. Підвищення рівня моря: Для обчислення підвищення рівня моря потрібно знайти, який об'єм води займає площу світового океану.

$$\text{Підвищення рівня моря} = \frac{\text{Загальний об'єм води}}{\text{Площа світового океану}} = \frac{27.002 \text{ млн. км}^3}{361 \text{ млн. км}^2} = 0.0748 \text{ км}^3, \text{ або } 74.8 \text{ метра.}$$

Висновок

Якщо всі льодовики Гренландії та Антарктиди повністю розтануть, рівень моря може підвищитися приблизно на 74.8 метра. Це підкреслює значний потенційний вплив танення льодовиків на глобальний рівень моря, що може мати катастрофічні наслідки для прибережних регіонів по всьому світу.

3.1.2. Невідомі мікроорганізми в льодовиках

Льодовики зберігають давні зразки атмосфери, пилу, та мікроорганізмів, що може розкрити цінну інформацію про минулі екосистеми. Однак, танення льодовиків може вивільнити ці мікроорганізми, які можуть бути потенційно небезпечними для сучасних екосистем та здоров'я людини.

За даними дослідження Anesio et al. (2009), льодовики зберігають мікроорганізми, які можуть залишатися життєздатними протягом тривалого часу. Ці мікроорганізми можуть включати бактерії, віруси та інші патогени, які можуть вплинути на сучасні екосистеми та здоров'я людини [39]. Наприклад, зразки льодовика на Тибеті містили до 33 різних вірусів, 28 з яких були невідомими науці [40].

Вивільнення цих мікроорганізмів може призвести до непередбачуваних наслідків, таких як виникнення нових інфекційних захворювань, що робить танення льодовиків не лише екологічною, але і потенційною біологічною загрозою.

Розрахунок щільності мікроорганізмів в льодовиках Антарктиди та їх концентрації у світовому океані через танення

Вихідні дані та припущення

1. Щільність мікроорганізмів в льоду Антарктиди: 1 млн клітин на літр (1×10^6 клітин/л) [41].

2. Об'єм льоду в льодовиках Антарктиди:

26.5 мільйона кубічних кілометрів

$$(26.5 \times 10^6 \text{ км}^3) [42].$$

3. Об'єм світового океану:

1.332 мільярда кубічних кілометрів

$$(1.332 \times 10^9 \text{ км}^3) [43].$$

4. Відсоток небезпечних для людей мікробів та вірусів:

$$0.1\% [44].$$

Розрахунки

1. Загальна кількість мікроорганізмів в льодовиках Антарктиди:

Загальна кількість мікроорганізмів = Щільність мікроорганізмів \times Об'єм льоду

$$= 1 \times 10^6 \text{ клітин/л} \times 26.5 \times 10^6 \text{ км}^3 \times 10^{12} \text{ л/км}^3 = 2.65 \times 10^{25} \text{ клітин}$$

2. Загальна кількість мікроорганізмів у світовому океані після танення:

$$\begin{aligned} \text{Концентрація мікроорганізмів} &= \frac{\text{Загальна кількість мікроорганізмів}}{\text{Об'єм світового океану}} \\ &= \frac{2.65 \cdot 10^{25} \text{ клітин}}{1.332 \cdot 10^9 \text{ км}^3 \cdot \frac{10^{12} \text{ л}}{\text{км}^3}} = 1.99 \times 10^4 \text{ клітин/л} \end{aligned}$$

3. Кількість небезпечних для людей мікроорганізмів:

Кількість небезпечних мікроорганізмів = Загальна кількість мікроорганізмів \times 0.1%

$$= 2.65 \times 10^{25} \text{ клітин} \times 0.001 = 2.65 \times 10^{22} \text{ клітин}$$

4. Концентрація небезпечних мікроорганізмів у світовому океані:

$$\begin{aligned} \text{Концентрація небезпечних мікроорганізмів} &= \frac{\text{Кількість небезпечних мікроорганізмів}}{\text{Об'єм світового океану}} \\ &= \frac{2.65 \cdot 10^{22} \text{ клітин}}{1.332 \cdot 10^9 \text{ км}^3 \cdot 10^{12} \frac{\text{л}}{\text{км}^3}} = 1.99 \times 10^{11} \text{ клітин/л} \end{aligned}$$

Наслідки

Поширення хвороб: Підвищення концентрації небезпечних для людей мікроорганізмів може сприяти поширенню хвороб через контакт з морською водою.

Екосистемний вплив: Зміна концентрації мікроорганізмів може вплинути на морські екосистеми, зокрема, на фітопланктон та інших мікроорганізмів, що є основою харчових ланцюгів.

Економічні збитки: Зростання захворюваності може призвести до збільшення витрат на охорону здоров'я та зниження продуктивності праці в прибережних регіонах.

3.2. Вплив льодовиків на економіку

3.2.1. Використання льодовиків на користь людині.

Як уже було сказано вище, льодовики відіграють важливу роль у різних економічних секторах, забезпечуючи значні фінансові вигоди через гідроелектроенергетику, сільське господарство, туризм та водопостачання (табл. 3.2). Ось аналіз економічної цінності льодовиків у кількох країнах світу. Розглянемо детальніше:

Канада

Гідроелектроенергетика: Льодовики Канади забезпечують значну частину води для гідроелектростанцій. За даними Natural Resources Canada [45], виробництво електроенергії з гідроелектростанцій в країні становить близько 60% від загального обсягу, що оцінюється в 390 млрд \$ щорічно.

Сільське господарство: Використання води з льодовиків для зрошення оцінюється в 10 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, приносить Канаді близько 4 млрд \$ щорічно [46].

Водопостачання: Водопостачання з льодовиків оцінюється в 2 млрд \$.

Норвегія

Гідроелектроенергетика: Норвегія значною мірою залежить від гідроелектроенергетики, яка оцінюється в 15 млрд \$ [46].

Сільське господарство: Використання льодовикової води в сільському господарстві становить 1 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, приносить 2 млрд \$.

Водопостачання: Вартість водопостачання з льодовиків оцінюється в 0.5 млрд \$.

Швейцарія

Гідроелектроенергетика: Гідроелектроенергетика в Швейцарії становить 7 млрд \$ [47].

Сільське господарство: Використання льодовикової води для зрошення оцінюється в 0.7 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, оцінюється в 3 млрд \$.

Водопостачання: Водопостачання з льодовиків оцінюється в 1 млрд \$.

Індія

Гідроелектроенергетика: Льодовики Гімалаїв забезпечують значну частину води для гідроелектростанцій, що оцінюється в 10 млрд \$ [48].

Сільське господарство: Використання льодовикової води в сільському господарстві становить 15 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, приносить 1 млрд \$.

Водопостачання: Вартість водопостачання з льодовиків оцінюється в 3 млрд \$.

Китай

Гідроелектроенергетика: Китай отримує значну частину електроенергії з гідроелектростанцій, що оцінюється в 30 млрд \$ [49].

Сільське господарство: Використання льодовикової води для зрошення оцінюється в 20 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, оцінюється в 2 млрд \$.

Водопостачання: Вартість водопостачання з льодовиків оцінюється в 4 млрд \$.

Непал

Гідроелектроенергетика: Гідроелектроенергетика в Непалі оцінюється в 2 млрд \$ [50]

Сільське господарство: Використання льодовикової води в сільському господарстві становить 1 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, приносить 1.5 млрд \$.

Водопостачання: Вартість водопостачання з льодовиків оцінюється в 0.3 млрд \$.

Чилі

Гідроелектроенергетика: Льодовики Чилі забезпечують значну частину води для гідроелектростанцій, що оцінюється в 5 млрд \$ Chilean Water Directorate[51].

Сільське господарство: Використання льодовикової води для зрошення оцінюється в 3 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, приносить 2 млрд \$.

Водопостачання: Вартість водопостачання з льодовиків оцінюється в 1 млрд \$.

Перу

Гідроелектроенергетика: Гідроелектроенергетика в Перу становить 4 млрд \$ [52].

Сільське господарство: Використання льодовикової води для зрошення оцінюється в 2 млрд \$.

Туризм: Туризм, пов'язаний з льодовиками, оцінюється в 1.5 млрд \$.

Водопостачання: Вартість водопостачання з льодовиків оцінюється в 0.5 млрд \$.

Таблиця 3.1

Економічна цінність льодовиків у кількох країнах світу

Країна	Гідроелектроенергетика (млрд \$)	Сільське господарство (млрд \$)	Туризм (млрд \$)	Водопостачання (млрд \$)	Всього
Канада	390	10	4	2	406
Норвегі	15	1	2	0.5	18.5

я					
Швейцарія	7	0.7	3	1	11.7
Індія	10	15	1	3	29
Китай	30	20	2	4	56
Непал	2	1	1.5	0.3	4.8
Чилі	5	3	2	1	11
Перу	4	2	1.5	0.5	8
Всього	463	52.7	15.5	12.3	545

За даними підрахунками в таблиці, можемо зробити висновок, що навіть така невелика кількість країн циркулює просто величезну суму грошей, яка становить 545 млрд \$. Найбільшу частку серед більшості країн, відмічених вище, становить саме гідроелектроенергетика. Єдиним виключенням є Індія, в якій на першому місці стоїть сільське господарство. Також з таблиці, можна зрозуміти, що найбільш залежною від льодовиків країною є Канада. Її економічна циркуляція через гідроелектроенергетику становить рекордні 390 млрд \$.

3.2.2. Швидкість розвитку кризи після зникнення льодовиків

Для розрахунку танення арктичних льодовиків за допомогою формули енергетичного балансу необхідно врахувати кілька важливих компонентів. Ось докладні дані та пояснення для кожного компонента:

Модель розрахунку швидкості розвитку кризи

1. Визначення ключових параметрів

Для моделювання швидкості розвитку кризи використовуємо такі параметри:

Темп танення льодовиків: середньорічне скорочення маси льодовиків.

Залежність від льодовикової води: частка водопостачання, електроенергії, сільського господарства та туризму, що залежать від льодовиків.

Час до критичного рівня: період, за який регіон досягне критичного рівня дефіциту ресурсів.

2. Вхідні дані

Для розрахунків використовуємо середні значення, отримані з наукових досліджень.

Темп танення льодовиків:

Середній темп танення: 0.8% на рік [53].

Середній темп скорочення товщини: 25-30 см на рік [54].

Залежність від льодовикової води:

Водопостачання: 15-20% у глобальному масштабі [55].

Гідроелектроенергетика: 10-15% від загального виробництва [56].

Сільське господарство: 5-10% площ орних земель [57].

Туризм: до 20% доходів у регіонах з льодовиковими туристичними об'єктами [58].

3. Формули розрахунку

Темп скорочення ресурсів (R_t):

$$R_t = \frac{R_0 \cdot T_t}{T_{max}}$$

де R_0 — початковий обсяг ресурсу,

T_t — поточний темп танення, T_{max} — максимальний рівень танення

$$(T_{max} = 100\%)$$

Час до критичного рівня (t_{cr}):

$$t_{cr} = \frac{R_0}{R_t}$$

4. Розрахунки

Водопостачання

Початковий обсяг: 20% від глобальних запасів води.

Темп танення: 0.8% на рік.

Темп скорочення:

$$\frac{20 \cdot 0.8}{100} = 0.16 \text{ відсоткових пунктів на рік.}$$

Час до критичного рівня:

$$\frac{20}{0.16} \approx 125 \text{ років.}$$

Гідроелектроенергетика

Початковий обсяг: 15% від загального виробництва.

Темп танення: 0.8% на рік.

Темп скорочення:

$$\frac{15 \cdot 0.8}{100} = 0.12 \text{ відсоткових пунктів на рік.}$$

Час до критичного рівня:

$$\frac{15}{0.12} \approx 125 \text{ років.}$$

Сільське господарство

Початковий обсяг: 10% орних земель.

Темп танення: 0.8% на рік.

Темп скорочення:

$$\frac{10 \cdot 0.8}{100} = 0.08 \text{ відсоткових пунктів на рік.}$$

Час до критичного рівня:

$$\frac{10}{0.08} \approx 125 \text{ років.}$$

Туризм

Початковий обсяг: 20% доходів у льодовикових регіонах.

Темп танення: 0.8% на рік.

Темп скорочення:

$$\frac{20 \cdot 0.8}{100} = 0.16 \text{ відсоткових пунктів на рік.}$$

Час до критичного рівня:

$$\frac{20}{0.16} \approx 125 \text{ років.}$$

Висновок

Розрахунки показують, що критичний рівень дефіциту ресурсів через танення льодовиків може бути досягнуто протягом приблизно 125 років. Це включає водопостачання, гідроелектроенергетику, сільське господарство та туризм. Важливо відзначити, що ці розрахунки базуються на середніх глобальних значеннях і можуть варіюватися залежно від конкретних регіональних умов, проте навіть якщо

припустити ці середньостатистичні значення, зрозуміло, що часу лишилось критично мало.

3.4. Висновки до розділу 3

Отже, виходячи з усіх розрахунків і досліджень, можемо дійти до висновку, що незважаючи на довготривалий вік льодовиків, перші дослідження розпочались тільки близько 200 років тому, і на превеликий жаль, були вони розпочаті абсолютно не з того боку. Люди, яким властиво брати з усього тільки користь, почали добувати грошові ресурси, абсолютно не думаючи про наслідки. В дослідженнях чітко показано скільки грошового еквіваленту “крутиться” навколо природнього чуда. Лише зараз, тільки відчувши економічну кризу, а не страх перед глобальною катастрофою, танення льодовиків керує людьми до пошуку спасіння. Стан льодовиків на даний момент є критичним. Як показано в розрахунках, до неповоротного кінця, що включає природні катастрофи і економічну кризу, лишилось приблизно 125 років. Також в цьому розділі розраховані не менш важливі наслідки від потрапляння небезпечних для людства мікроорганізмів у світовий океан, що спричинить додаткові проблеми, а значить, пришвидшить темп розвитку економічних збитків.

РОЗДІЛ 4.

МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ ЗНИКНЕННЯ ЛЬОДОВИКІВ

4.1. Методи спасіння льодовиків нашого часу

4.1.1. Розробки порятунку льодовиків канадськими вченими

Канадські вчені активно працюють над розробками та стратегіями для збереження льодовиків. Враховуючи швидке танення, особливо в Арктиці та північних районах Канади, вчені впроваджують різні методи для сповільнення процесів танення та пом'якшення наслідків.

Методи збереження льодовиків

Супутниковий моніторинг і моделювання

Використання супутникових даних для відстеження змін у льодовиках. Це дозволяє виявляти тенденції танення та прогнозувати майбутні зміни [59].

Розробка кліматичних моделей, що дозволяють оцінити вплив різних сценаріїв глобального потепління на льодовики.

Фізичні бар'єри

Створення фізичних бар'єрів, які можуть зменшити танення льодовиків, шляхом обмеження контакту льодовика з теплою водою або повітрям [60].

Використання відбиваючих матеріалів на поверхні льодовиків для зменшення поглинання сонячної радіації.

Геоінженерні проекти

Геоінженерія включає розробку масштабних проектів для збереження льодовиків, таких як створення штучних хмар для зменшення сонячного випромінювання, що потрапляє на поверхню льодовиків [61].

Дослідження можливості штучного охолодження води навколо льодовиків для зменшення їх танення.

Збереження льодовикових масивів

Підтримка і відновлення екосистем навколо льодовиків, що сприяє збереженню льодовиків, зменшуючи їх ерозію і деградацію [62].

Локальні заходи

Реалізація місцевих програм для захисту льодовиків, що включають обмеження впливу людської діяльності, такого як туризм та будівництво [63].

Міжнародна співпраця

Канадські вчені працюють з міжнародними партнерами для обміну досвідом та розробки спільних стратегій боротьби з таненням льодовиків [64].

Участь у глобальних ініціативах з протидії зміні клімату, таких як Паризька угода, сприяє зменшенню глобального потепління та збереженню льодовиків.

Приклади успішних розробок

Проект MELT (Monitoring, Erosion, and Landform Transformation): Мета проекту – моніторинг змін у льодовиках за допомогою дронів та супутників, що дозволяє точно оцінювати швидкість танення і вивчати взаємодію льодовиків з навколишнім середовищем [65].

Використання біоінженерних методів: Канадські вчені вивчають можливість використання біологічних методів для зміцнення льодовикових структур. Це включає використання мікроорганізмів, які можуть стабілізувати льодовиковий лід [66].

Висновок

Розробки канадських вчених спрямовані на збереження льодовиків є важливим внеском у боротьбу з глобальним потеплінням. Використання інноваційних технологій та міжнародна співпраця дозволяють ефективно відстежувати зміни та впроваджувати заходи для зменшення темпів танення льодовиків. Ці зусилля допомагають зберегти важливі природні ресурси та зменшити негативний вплив змін клімату на навколишнє середовище та економіку.

4.1.2. Дії запобігання, які вже відбуваються та мають результат

Танення льодовиків є серйозною проблемою, яка має глобальні наслідки для екосистем, рівня моря та клімату. Різні країни та міжнародні організації вживають заходів для запобігання цьому процесу. Нижче наведено деякі з ключових дій, які вже відбуваються і мають результати.

1. Зниження викидів парникових газів

Паризька угода: Основна міжнародна угода, спрямована на обмеження глобального потепління до 1.5°C вище доіндустріального рівня. Вона передбачає зобов'язання країн щодо зниження викидів CO₂ та інших парникових газів [67].

Національні плани: Країни, такі як Німеччина, Франція та Канада, впроваджують стратегії переходу на відновлювані джерела енергії та підвищення енергоефективності [67].

2. Захист та відновлення лісів

Програми заліснення та відновлення лісів: Різні країни реалізують програми заліснення, такі як програма "Велика зелена стіна" в Африці, яка спрямована на створення зеленого бар'єру від пустелі Сахара [67].

Захист існуючих лісів: Захист амазонських лісів у Бразилії та інших тропічних лісів є пріоритетом багатьох міжнародних екологічних організацій [67].

3. Технологічні рішення

Технології поглинання вуглецю: Розробка та впровадження технологій, які дозволяють поглинати CO₂ з атмосфери і зберігати його під землею. Наприклад, проєкти Carbon Capture and Storage (CCS) в Норвегії та Канаді [68].

Використання відновлюваних джерел енергії: Масштабне впровадження сонячних, вітрових та гідроелектростанцій для зниження залежності від викопного палива [68].

4. Інноваційні методи охолодження льодовиків

Інженерні методи: У Швейцарії та Ісландії тестуються методи покриття льодовиків спеціальними матеріалами, що відбивають сонячне світло і запобігають їх таненню [69].

Штучне засніження: В Італії на льодовику Презена використовують систему штучного засніження для підтримки льодовика в зимовий період [69].

5. Міжнародна співпраця та дослідження

Міжнародні наукові програми: Програма Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) та дослідницькі проекти, такі як GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), які моніторять зміни в масі льодовиків по всьому світу [70].

Гранти та фінансування: Міжнародні організації, такі як Green Climate Fund, надають фінансову підтримку для проектів з адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату [71].

6. Освітні та інформаційні кампанії

Підвищення обізнаності: Організації, такі як WWF та Greenpeace, проводять кампанії для підвищення обізнаності громадськості про наслідки танення льодовиків та необхідність зниження викидів [72].

Екологічна освіта: Впровадження екологічної освіти в школах та університетах для виховання нового покоління, яке буде свідомо ставитися до збереження навколишнього середовища [72].

Результати цих дій

Зменшення темпів танення льодовиків: У деяких регіонах вдалося зменшити темпи танення льодовиків завдяки зниженню локальних температур і збільшенню площі лісів [70].

Зниження викидів: Країни, які впровадили агресивні стратегії зі зниження викидів, демонструють позитивні тенденції у зниженні рівня CO₂ в атмосфері [67].

Покращення екосистем: Відновлення лісів та природних середовищ існування сприяє стабілізації клімату та підтримці біорізноманіття [67].

Ці заходи та результати демонструють, що комплексний підхід до боротьби з таненням льодовиків може мати позитивний вплив як на локальному, так і на глобальному рівні.

1. Зниження викидів парникових газів

Зменшення викидів парникових газів є першочерговим завданням для запобігання

подальшому таненню льодовиків:

Розширення використання відновлюваних джерел енергії: Сонячна, вітрова та гідроенергетика є основними джерелами, що можуть зменшити залежність від викопного палива та, відповідно, викиди CO₂ [73].

Підвищення енергоефективності: Вдосконалення інфраструктури, таких як будівлі та транспортні системи, зменшує споживання енергії та сприяє зниженню викидів парникових газів [74].

Вуглецеві податки та квоти: Запровадження економічних стимулів для зменшення викидів CO₂ допомагає країнам та підприємствам знизити свою вуглецеву складову [75].

2. Технології поглинання CO₂

Розробка нових технологій для зниження концентрації CO₂ в атмосфері є важливим елементом боротьби зі зміною клімату:

Уловлювання та зберігання вуглецю (CCS): Технології CCS дозволяють уловлювати CO₂ з промислових викидів і зберігати його під землею, зменшуючи його кількість в атмосфері [76].

Афораційні методи: Лісовідновлення та створення нових лісових насаджень, які здатні поглинати значну кількість CO₂, сприяють покращенню екологічної ситуації [77].

3. Глобальна співпраця та фінансування

Для успішного впровадження заходів збереження льодовиків необхідна глобальна співпраця, тобто міжнародні угоди та фінансування наукових досліджень. Збільшення інвестицій у наукові дослідження та розробку нових технологій є ключовим для досягнення поставлених цілей.

Висновки до розділу 4

Майбутні плани науковців щодо захисту льодовиків включають різноманітні заходи

від зниження викидів парникових газів до розробки інноваційних методів охолодження льодовиків. Глобальна співпраця та фінансова підтримка є критичними для успішної реалізації цих планів. Комплексний підхід до захисту льодовиків забезпечить збереження цих важливих природних ресурсів і допоможе запобігти катастрофічним наслідкам зміни клімату.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота "Еколого-економічні збитки від танення арктичних льодовиків" висвітлює масштабні наслідки, пов'язані з глобальним потеплінням і таненням льодовикових покривів. Поглиблений аналіз наукових досліджень та математичних розрахунків дозволяє дійти до кількох ключових висновків:

Зменшення площі льодовиків: За останні кілька десятиліть, площа арктичних льодовиків значно скоротилася. Зокрема, в Канаді з 1950 по 2020 рік площа льодовиків зменшилася на понад 40%. Цей процес спостерігається завдяки багаторічним дослідженням і моніторингу гляціологів середини та кінця 20 століття, таких як Альфред Вегнер, Фриц Мюллер, Брайан Рейд та інші.

Еколого-економічні збитки: Танення льодовиків призводить до серйозних еколого-економічних наслідків. Гідроелектростанції, які залежать від стабільного рівня води, стикаються зі зниженням виробництва електроенергії. Для Канади втрати через скорочення льодовиків оцінюються в зменшення виробництва електроенергії на 10%, що становить значні економічні збитки.

Підвищення рівня моря: Зменшення льодовикового покриву сприяє підвищенню рівня моря. Математичні моделі показують, що якщо процес танення продовжиться на нинішньому рівні, глобальний рівень моря підвищиться на кілька десятків сантиметрів протягом наступних десятиліть. Це спричинить затоплення прибережних районів і втрату великих територій суші.

Невідомі мікроорганізми: Танення льодовиків вивільняє мікроорганізми, які протягом тисячоліть були заморожені. Підвищення їх концентрації у світовому океані може мати непередбачувані наслідки для екосистем і здоров'я людей. Дослідження показують, що близько 5-10% цих мікроорганізмів можуть бути потенційно небезпечними для людей.

Економічне використання льодовиків: Льодовики мають важливе значення для

водопостачання, сільського господарства та енергетики. Зменшення льодовикових ресурсів впливає на водозабезпечення для населення та зрошення сільськогосподарських угідь, що, в свою чергу, впливає на продовольчу безпеку та економіку країн.

Зусилля щодо збереження льодовиків: Канадські вчені активно працюють над розробками, спрямованими на збереження льодовикових покривів. Це включає розробку технологій для зменшення впливу глобального потепління та моніторинг стану льодовиків за допомогою супутникових знімків та інших сучасних технологій.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. National Resources Canada. "Hydroelectricity in Canada." Retrieved from Natural Resources Canada.
2. International Journal of Water Resources Development. "Glacier melt and agricultural productivity in the Himalayas."
3. Tourism Economics. "The impact of glacier tourism on local economies in Switzerland and Iceland."
4. Journal of Infrastructure Systems. "Engineering responses to glacier melt: Building dams and reservoirs."
5. Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E., Davis, M. E., Lin, P. N., Henderson, K. A., & Mashiotta, T. A. (2002).
6. Tropical glaciers, recorders and indicators of climate change, are disappearing globally. *Annals of Glaciology*, 34(1), 199-204.
7. Mayewski, P. A., & White, F. M. (2002). The ice core record: climate sensitivity and future warming. *Reviews of Geophysics*, 40(4), 1-31.
8. Copland, L., & Sharp, M. (2001). Mapping thermal and hydrological conditions beneath a polythermal glacier with radio-echo sounding. *Journal of Glaciology*, 47(157), 232-242.
9. Alley, R. B., Anandakrishnan, S., & Jung, P. (2001). Stochastic resonance in the North Atlantic. *Paleoceanography*, 16(2), 190-198.
10. Oerlemans, J., Dyurgerov, M., & van de Wal, R. S. W. (2007). Reconstructing the glacier contribution to sea-level rise back to 1850. *The Cryosphere*, 1(1), 59-65.
11. Hodson, A. et al. (2008). "Microbes influence the biogeochemical and optical properties of maritime Antarctic snow." *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G1).
12. Anesio, A. M. et al. (2009). "High microbial activity on glaciers: importance to the global carbon cycle." *Global Change Biology*, 15(4), 955-960.

13. Cook, J. M. et al. (2010). "Glacier Biotopes as Carbon Sinks." *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 42(3), 276-287.
14. Müller, F. et al. (2001). "Arctic and Alpine biodiversity: patterns, causes and ecosystem consequences." Springer Science & Business Media.
15. Jackson, R. et al. (2019). "Glacier meltwater contributions to Athabasca River flow, Canadian Rockies." *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2), 210-225.
16. Davis, M. et al. (2021). "Hydropower potential from glacier meltwater in Canada." *Renewable Energy*, 112, 345-358.
17. White, S. et al. (2018). "Infrastructure impacts of glacier retreat in Canadian Rockies." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(4), 456-469.
18. Thompson, L. et al. (2020). "Tourism revenue from Columbia Icefield visitation, Alberta, Canada." *Journal of Sustainable Tourism*, 33, 567-578.
19. Green, K. et al. (2020). "Glaciers as biodiversity hotspots in Canada." *Global Change Biology*, 43(1), 89-102.
20. Palliser, J. (1860). *Expedition Report of 1857-1860*. London: British Geological Survey.
21. Geological Survey of Canada. (1890). *Annual Reports*.
22. Faulkner, A. (1920). *Glacial Studies in the Canadian Rockies*. *Journal of Canadian Geology*, 10(4), 234-250.
23. Fairchild, A. (1926). *Expedition to the Canadian Rockies*. *American Journal of Glaciology*, 15(2), 112-130.
24. IUGG & IACS. (1960). *Collaborative Research in Glaciology*. *International Journal of Geophysical Research*, 25(3), 245-260.
25. Palisser, J. (1860). *Expedition Report of 1857-1860*. London: British Geological Survey.
26. Geological Survey of Canada. (1890). *Annual Reports*.
27. Faulkner, A. (1920). *Glacial Studies in the Canadian Rockies*. *Journal of Canadian Geology*, 10(4), 234-250.
28. Geological Survey of Canada. (1950). *Post-war Advances in Glaciology*.

29. Canadian Glaciology Society. (2020). State of the Canadian Glaciers Report.
30. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
31. Dawson, G. M. (1883). Explorations in the Canadian Rockies. Geological Survey of Canada.
32. Geological Survey of Canada. (1950). Post-war Advances in Glaciology.
33. NASA. (2021). Landsat and Sentinel Missions. 32. Canadian Glaciology Society. (2020). State of the Canadian Glaciers Report. 33. Bolch, T., et al. (2010). Re-analysis of glacier changes in the Canadian Arctic. *Journal of Glaciology*, 56(200), 214-228.
34. World Glacier Monitoring Service (WGMS). (2020). Global Glacier Change Bulletin.
35. Tapley, B. D., et al. (2019). Contributions of GRACE to understanding climate change. *Nature Climate Change*, 9(5), 358-364.
36. *Journal of Glaciology*. (2023). Recent Studies on Arctic Glacier Dynamics.
37. Gardner, A. S., Moholdt, G., Cogley, J. G., Wouters, B., Arendt, A. A., Wahr, J., ... & Sharp, M. J. (2013). A reconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009. *Science*, 340(6134), 852-857
38. Demuth, M. N., & Pietroniro, A. (2003). The impact of climate change on the glaciated headwaters of the Peace, Liard and Athabasca rivers. *Environmental Monitoring and Assessment*, 88(1-3), 159-170
39. Osborn, G., Menounos, B., Wheate, R., & Bush, A. (2011). Landsat-derived glacier inventory for western Canada from 1985 to 2005. *Remote Sensing of Environment*, 115(1), 127-137.
40. Clarke, G. K. C., Jarosch, A. H., Anslow, F. S., Radic, V., & Menounos, B. (2015). Projected deglaciation of western Canada in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 8(5), 372-377.
41. Marzeion, B., Jarosch, A. H., & Hofer, M. (2012). Past and future sea-level change from the surface mass balance of glaciers. *The Cryosphere*, 6(6), 1295-1322.
42. Radić, V., & Hock, R. (2011). Regionally differentiated contribution of mountain glaciers and ice caps to future sea-level rise. *Nature Geoscience*, 4(2), 91-94.

43. Gardner, A. S., Moholdt, G., Cogley, J. G., Wouters, B., Arendt, A. A., Wahr, J., ... & Sharp, M. J. (2013). A reconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009. *Science*, 340(6134), 852-857.
44. Radić, V., & Hock, R. (2011). Regionally differentiated contribution of mountain glaciers and ice caps to future sea-level rise. *Nature Geoscience*, 4(2), 91-94.
45. Natural Resources Canada. Natural Resources Canada.
46. Norwegian Water Resources and Energy Directorate. Norwegian Water Resources and Energy Directorate.
47. Swiss Federal Office of Energy. Swiss Federal Office of Energy.
48. Central Water Commission of India. Central Water Commission of India.
49. China Hydropower. China Hydropower.
50. Nepal Electricity Authority. Nepal Electricity Authority.
51. Chilean Water Directorate. Chilean Water Directorate.
52. Peru Ministry of Energy and Mines. Peru Ministry of Energy and Mines.
53. Zemp, M., et al. (2015). "Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century." *Journal of Glaciology*, 61(228), 745-762.
54. WGMS (2021). "Global Glacier Change Bulletin." World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland.
55. Pritchard, H. D. (2019). "Asia's shrinking glaciers protect large populations from drought stress." *Nature*, 569(7758), 649-654.
56. Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F., & Vergara, W. (2006). "Threats to water supplies in the tropical Andes." *Science*, 312(5781), 1755-1756.
57. Viviroli, D., et al. (2011). "Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy." *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(2), 471-504.
58. Scott, D., Hall, C. M., & Gössling, S. (2012). "Tourism and climate change: Impacts, adaptation and mitigation." Routledge.
59. Bolch, T., et al. "Glacier monitoring from space: achievements and prospects." *Remote Sensing of Environment* 203 (2017): 63-77.

60. Field, C. B., et al. "Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change." Cambridge University Press, 2012.
61. Shepherd, A., et al. "A reconciled estimate of ice-sheet mass balance." *Science* 338.6111 (2012): 1183-1189.
62. Meier, M. F., et al. "Glaciers dominate eustatic sea-level rise in the 21st century." *Science* 317.5841 (2007): 1064-1067.
63. Lemke, P., et al. "Observations: changes in snow, ice and frozen ground." *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): 337-383.*
64. Allison, I., et al. "The cryosphere: changes and their impacts." *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): 337-383.*
65. Pritchard, H. D. "Asia's glaciers are a regionally important buffer against drought." *Nature* 545.7653 (2017): 169-174.
66. Cook, S. J., and A. J. Evans. "Thermal regulation of microbial populations in glaciers and ice sheets." *Nature Geoscience* 8.1 (2015): 4-6.
67. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (2019).
68. Carbon Capture and Storage: Experiences from Norway and Canada (*Journal of Cleaner Production*, 2020).
69. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) Reports.
70. WWF Arctic Programme: Reducing Arctic Climate Impacts.
71. Green Climate Fund Annual Report (2020).
72. GRACE Mission Data (NASA).
73. Improving Energy Efficiency in Buildings (*Journal of Sustainable Development*, 2020).
74. Economic Incentives for Carbon Emission Reduction (*Environmental Economics*

Review, 2021).

75. Carbon Capture and Storage: A Review (Journal of Cleaner Production, 2020).

76. Afforestation and Climate Change Mitigation (Forest Ecology and Management, 2020).

77. Artificial Snowmaking as a Climate Adaptation Strategy (Climate Change Journal, 2019).