



## Рекомендації з охорони печер і карсту

Друге видання



Печера Ксе Банг Фей, Лаос

Фото: Стівен Борне

# Рекомендації з охорони печер і карсту

Друге видання

2024

Редактори: Девід Гіллсон, Джон Ганн, Августо Аулер і Террі Болгер

Співавтори: Августо Аулер, Террі Болгер, Фердінандо Дідонна, Ролан Ебергард, Стефан Ебергард, Гайн Герстнер, Девід Гіллсон, Джон Ганн, Ана Комерікі, Деніз Матіас, Жасмін Морейра, Ана Софія Ребойра, Гірі Шиндел, Марія-Лаура Тірле, Бербель Фогель і Бред

Переклад з англійської на українську: Вікторія Петренко

Вуест. Видано Міжнародною спелеологічною асоціацією (UIS)  
та Міжнародним союзом охорони природи (IUCN)



Рекомендації з охорони печер і карсту

Міжнародний союз охорони природи (МСОП) опублікував у 1997 році перше видання рекомендацій. Міжнародна спелеологічна Асоціація (UIS) у 2022 році за підтримки МСОП зробила публікацію другого видання. Члени робочої групи печер і карсту у групі спеціалістів із геоспадщини Всесвітньої комісії МСОП із заповідних територій узагальнили та відредагували рекомендації.

Погляди, висловлені в цій публікації, не обов'язково збігаються з поглядами UIS, IUCN або будь-яких інших організацій-учасників.

Авторське право:

© 2022 UIS, Міжнародна спелеологічна асоціація та МСОП, Міжнародний союз охорони природи  
Відтворення цієї публікації в освітніх чи інших некомерційних цілях дозволено без попереднього письмового дозволу власника авторських прав за умови повного зазначення джерела.

Відтворення цієї публікації для перепродажу чи інших комерційних цілей заборонено без попереднього письмового дозволу власника авторських прав.

Рекомендоване цитування: Гіллісон Д. С., Ганн, Дж., Аулер, А. та Болгер, Т. (редактори), 2022. *Рекомендації з охорони печер і карсту*, 2<sup>ге</sup> видання, Постойна, Словенія: Міжнародна спелеологічна асоціація та Глан, Швейцарія, IUCN. 112pp.

Національна бібліотека Каталогізації Австралії – у. – Публікація:

Гіллісон Д., Ганн Дж., Аулер А. та Болгер Т. (редактори)

ISBN:

Містить бібліографічну інформацію

Печери – збереження та управління

Карст – збереження та управління

Обкладинка: Стівен Борне, використано з дозволу

Макет і виробництво: Девід Гіллісон і Джеремі Гарнетт

Про UIS

Міжнародна спелеологічна асоціація або UIS є міжнародним органом спелеології. UIS є некомерційною неурядовою організацією, яка сприяє взаємодії між науковими та спортивними спелеологами різних національностей для розвитку та координації міжнародної спелеології в усіх її наукових, технічних, культурних та економічних аспектах. UIS залишається головною глобальною науковою та спортивною організацією, яка сприяє збереженню печер на міжнародному рівні. Організація співпрацює з Міжнародним союзом охорони природи (МСОП). За запитом UIS підтримує та заохочує міжнародні спелеологічні заходи, зусилля країн-членів із захисту своїх печер і карстових об'єктів, подання заявок ЮНЕСКО на внесення об'єктів до списку Всесвітньої спадщини, заявок до урядів щодо створення карстових установ, а також підтримує зусилля спелеологічного наукового осередку зі збору коштів для своїх проєктів. UIS у партнерстві з 57 країнами-членами та понад 250 установами та організаціями по всьому світу проголосила 2021 - 2022 роки Міжнародним роком печер і карсту.

[secretary@uis-speleo.org](mailto:secretary@uis-speleo.org)

<http://uis-speleo.org/>

Про МСОП

Міжнародний союз охорони природи (МСОП) є членським союзом, який унікально складається з урядових організацій та організацій громадянського суспільства. Він надає державним, приватним і неурядовим організаціям знання та інструменти, які забезпечують розвиток людства, економічний розвиток і збереження природи разом.

Створений у 1948 році, МСОП зараз є найбільшою та найбільш різноплановою екологічною мережею у світі, яка використовує знання, ресурси та має охоплення понад 1400 організацій-членів та приблизно 18 000 експертів. Це провідний постачальник оцінок та аналізу, а також даних про збереження об'єктів. Його широке членство дозволяє МСОП виконувати роль надійного сховища передового досвіду, інструментів і міжнародних стандартів.

МСОП забезпечує нейтральний простір, у якому різні зацікавлені сторони - уряди, неурядові організації, наукові товариства, підприємства, місцеві громади, організації корінних народів та інші - можуть працювати разом, щоб створювати та впроваджувати рішення екологічних проблем і досягати сталого розвитку.

МСОП співпрацює з багатьма партнерами та реалізує великий і різноманітний кейс природоохоронних проєктів по всьому світу. В результаті поєднання новітньої науки з традиційними знаннями місцевих громад ці проєкти спрямовані на те, щоб попередити втрату середовища існування, відновити екосистеми та покращити добробут людей.

[www.iucn.org](http://www.iucn.org)

<https://twitter.com/IUCN/>

Katalogični zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

**COBISS.SI-ID 201478915**

ISBN 978-961-96709-1-0 (Mednarodna speleološka zveza (UIS), PDF)

# Зміст

Обсяг документа	ii
Автори	ii
Подяка	iii
<b>Природа карстових систем</b>	<b>1</b>
Вступ: Карст, печери та їх захист	1
Карст і розчинність порід	4
Деякі значення карсту і печер	5
Особливість карстових середовищ і печерних систем	10
Масштаби адміністрування в карстових районах	12
<b>Діяльність людини на карсті: вплив і пом'якшення антропогенного впливу</b>	<b>16</b>
Пригодницько-рекреаційна спелеологія	16
Показові (екскурсійні) печери	27
Пригодницька та туристична діяльність на поверхневому карсті	39
Наукові дослідження	41
Сільське та лісове господарство	45
Видобувна промисловість	52
Розвиток та інфраструктура	59
Водопостачання	67
<b>Управління карстом на природоохоронних територіях</b>	<b>71</b>
Розвиток ефективного моніторингу та пом'якшення антропогенного впливу	71
Планування управління карстовими природоохоронними територіями	74
Залучення корінних народів до управління карстом	79
<b>Висновки</b>	<b>88</b>
<b>Додаткова інформація</b>	<b>89</b>
<b>Інтернет-ресурси</b>	<b>90</b>
<b>Наукова література</b>	<b>91</b>
<b>Додаток 1: Карст і печери в некарбонатних породах</b>	<b>94</b>
<b>Додаток 2: Повний список рекомендацій</b>	<b>102</b>

## Обсяг документа

Ці рекомендації містять доповнення та розширення оригінальних «Рекомендацій щодо захисту печер і карсту», опублікованих Міжнародним союзом охорони природи – IUCN у 1997 році (див. Додаткову інформацію). У 2021 році Міжнародна спелеологічна асоціація (UIS) погодилася опублікувати друге видання рекомендацій, а МСОП – спонсорувати публікацію. Оригінальні рекомендації стосувалися передусім геоспадщини, і хоча це залишається важливим питанням у другому виданні, ми також порушуємо біологічні питання, пов'язані зі збереженням печер і карсту.

Захист поверхневих і підземних карстових екосистем має особливе відношення до Цілі 15 Порядку денного ООН зі Сталого розвитку на період до 2030 року (Захист, відновлення та сприяння сталому використанню наземних екосистем, раціональне управління лісами, боротьба з опустелюванням, а також зворотна деградація земель і втрата біорізноманіття). Ці рекомендації також мають відношення до Цілі сталого розвитку 6 (Забезпечення доступності та сталого управління водою та санітарними нормами для всіх), оскільки ~10% населення світу отримує воду з карсту, або з окремих джерел, або з карстових підземних вод. Нові рекомендації будують і розширюють Керівні принципи геоконсервації в заповідних територіях. Рекомендації, опубліковані МСОП у 2020 році, наголошують на захисті та збереженні георізноманіття, геоспадщини та екології в карстових і печерних районах.

Цілком доречно, що ця публікація з'являється під час Міжнародного року печер і карсту (IYCK) 2021–2022, який організовує Міжнародна спелеологічна асоціація, всесвітня організація дослідників печер і карсту, науковців, менеджерів і освітян. Три центральні теми IYCK - досліджувати, розуміти та захищати. Не дивлячись на те що ця публікація зосереджена на третій із цих тем, наша мета — покращити розуміння вразливості печер і карсту. Хоча після публікації першого видання відбулося приємне розширення знань про печери та карст, підземним порожнинам продовжує загрожувати людська діяльність по всьому світу. Насправді існують виняткові, незамінні та важливі з гідрологічної, екологічної та культурної точки зору печерні та карстові ландшафти, які постійно пошкоджуються або знаходяться під загрозою.

Редактори та багато авторів рекомендацій є членами робочої групи IUCN-WCPA Caves and Karst Working Group (CKWG), яка є частиною групи спеціалістів з геоспадщини. Інші члени CKWG, члени групи спеціалістів з печерних безхребетних IUCN SSC та члени глобальної спільноти фахівців з карсту переглянули цю публікацію. Ми надали списки матеріалів для додаткового читання, корисних Інтернет-ресурсів і наукової літератури, використаної для створення цього документа. Ми сподіваємося, що ці рекомендації зроблять значний внесок у знання особливих міркувань щодо адміністрування, необхідних для ефективного захисту печер і карсту. Рекомендації 1997 року були «першим кроком» на цьому шляху, і це друге видання відображає наші знання на загальному рівні. Тепер завдання полягає в тому, щоб розробити більше національних і конкретних стратегій для карстових територій по всьому світу.

## Автори

Девід Гіллісон, Школа географії, Землі та атмосферних наук, Університет Мельбурна, Клейтон, Вікторія, Австралія

Джон Ганн, Школа географії, наук про Землю та навколишнє середовище Бірмінгемського університету, Англія, Великобританія

Августо Аулер, директор з досліджень, Carste Ciência Ambiental / Instituto do Carste, Белу-Орізонті, Мінас-Жерайс, Бразилія

Террі Болгер, фахівець з печер і карсту, В'єнтьян, Лаос

Фердінандо Дідонна, член Європейської комісії із захисту печер ECPC/FSE; Член групи спеціалістів із геоспадщини IUCN/WCPA GSG, Італія

Ролан Еберхард, Відділ природної та культурної спадщини, Департамент первинної промисловості, парків, води та навколишнього середовища, Гобарт, Тасманія, Австралія

Стефан Еберхард, директор, Subterranean Ecology Pty Ltd, Конінгем, Тасманія, Австралія; Ад'юнкт-філія, Університет Нового Південного Уельсу; Почесний співробітник Музею Західної Австралії

Гайн Герстнер, менеджер парку, Світова спадщина Мулу, Borsamulu Park Management Sdn Bhd, Мулу, Саравак, Малайзія

Ана Комеричкі, Хорватське біоспелеологічне товариство, Загреб, Хорватія

Деніз Маргарет С. Матіас, Біорізноманіття та люди, Інститут соціально-екологічних досліджень (ISOE), Франкфурт-на-Майні, Німеччина

Жасмін Кардозо Морейра, Департамент туризму, Програма землеустрою, Державний університет Понта Гроса, Бразилія

Ана Софія Реболейра, Відділ біології тварин, факультет Ciências da Universidade de Lisboa, Лісабон, Португалія

Гірі Шіндел, головний технічний директор, Edwards Aquifer Authority, Сан-Антоніо, Техас, США та президент Національного спелеологічного товариства, США

Марія-Лаура Тірле, Департамент регіональної географії та навколишнього середовища, Бухарестський університет, Бухарест, Румунія

Бербель Фогель, президент Німецької спелеологічної федерації; Помічник секретаря Міжнародної спелеологічної асоціації-UIS;

Секретар IUCN/WCPA GSG Робоча група печер і карсту

Бред Вуест, президент Міжнародної асоціації показових печер, Природні печери Моста, Сан-Антоніо, Техас, США

## Подяки

Ми вдячні таким людям, які переглянули друге видання цих рекомендацій та/або зробили корисні коментарі:

Джордана Белтрам, Словенія  
Розана Черквенік, Словенія  
Філ Чапмен, Великобританія  
Мік Дей, США  
Мартін Елліс, Великобританія  
Ганс Фридріх, Мальта  
Джеремі Гарнетт, Австралія  
Пол Гриффітс, Канада  
Надя Жупан Гайна, Словенія  
Еко Харіоно, Індонезія

Кюнг Сік Ву, Південна Корея  
Дон МакФарлан, США  
Жасмін Морейра, Бразилія  
Джон Парр, Лаос  
Енді Спейт, Австралія  
Тім Стоукс, Канада  
Джордж Вені, США  
Джон Уотсон, Австралія  
Нік Уайт, Австралія  
Пол Вільямс, Нова Зеландія

Ми вдячні цим людьми, що надали фотографії для рекомендацій:

Лузіана Альт  
Стівен Борне  
Філіп Крочет  
Роб Ейвіс  
Чаба Егрі  
Пол Гриффітс

Вітторіо Гробу  
Пітер Хоффман  
Тоні Марсден  
Вітор Моура  
Джон Спайс  
Райнер Штрауб

Авторські права на окремі фотографії залишаються за фотографом, і їх заборонено поширювати без письмового дозволу.

Ми дуже вдячні Марії-Лаурі Тірле за її блок-схему карстової гідрологічної системи, просторову організацію карстових водозбірних басейнів і вплив діяльності на карст.

Переклад тексту рекомендацій на українську мову В.В. Петренко

# Природа карстових систем

## Вступ: Карст, печери та їх захист

Карст і печери були мовчазними свідками еволюції Землі та підйому людських цивілізацій. Печери та карст зберегли та захистили важливі фрагменти довгого та бурхливого геологічного минулого Землі. Вони варіюються від прадавніх родовищ корисних копалин, давно зниклих океанів і ранніх форм життя до унікальних печерних організмів, останків вимерлої мегафауни та ранніх проявів людського мистецтва. Без печер і карсту така інформація була б для нас майже недоступною. Карст і печери є одними з найвидатніших і найцінніших ландшафтів на нашій планеті, які мають невід'ємну туристичну та економічну цінність. Захист печер і карсту є життєво важливим для збереження історії людства і планети. Знання про карст і печери необхідні для збереження здорового співіснування між карстом і нашою цивілізацією, мінімізації та уникнення впливу на навколишнє середовище, який, зрештою, відобразиться на нас. Безпечне та стале використання карсту та печер, а також те, як належним чином захищати та управляти ними, є темою цієї книги. Ми прагнемо передати оновлену світову найкращу практику, доступну для широкого кола читачів, водночас надаючи технічні деталі, які цікавлять спеціалістів.

## Що таке карст?



*Ущелина Карес у національному парку Пікос-де-Європа та біосферному заповіднику ЮНЕСКО в Іспанії є чудовим прикладом оголеного карсту в альпійському середовищі. Фото Девіда Гілісона.*

Термін «карст» походить від стародавнього слова *karra/gara*, що означає «камінь». Термін вперше був використаний науково в нинішньому прикордонному регіоні Словенії та Італії, який зараз широко відомий як «класичний карст». Цей регіон має характерні форми рельєфу та містить великі площі голого вапняку, який – принаймні частково – був оголений через ерозію ґрунту внаслідок надмірного випасу тварин. Згодом карст був глобально застосований до різноманітних ландшафтів, деякі з них мають мало спільного з класичним карстом, і для багатьох з яких майже немає голої поверхні скель. Існують численні, іноді суперечливі, визначення карсту, але гарною відправною точкою є те, що карстові території характеризуються особливими формами рельєфу та гідрологією, що є результатом поєднання високої розчинності гірських порід і руху підземних вод уздовж основних шляхів (каналів). Потік підземних вод через менші канали є ламінарним і не може транспортувати осад. З часом канали розширюються шляхом розчинення; коли вони достатньо великі для турбулентного потоку (зазвичай при ширині порожнини ~10 мм), вони відомі як канали. Відмінні форми рельєфу поверхні в карстових областях містять замкнені западини, такі як улоговини (широко відомі як воронки) і більші поля з плоским дном. Поширені також понори, сухі долини та джерела. Міністерство з охорони навколишнього середовища США випустило корисний словник печерної та карстової термінології (див. Інтернет-ресурси).



*На відміну від ущелини Карес, більша частина карсту у вологому помірному кліматі Нової Зеландії Королівської країни лежить під товстим покривом вулканічного попелу. Велика частина місцевого лісу була вилучена та замінена пасовищами. Фото Джона Ганна*

### *Що таке печера?*

Печера — це природно утворена порожнина в земній поверхні (скелі або осадових відкладеннях), яка є достатньо великою, щоб туди могли потрапити люди. Це визначення відрізняє печери від штучних тунелів та інших побудованих підземних порожнин, які іноді неправильно називають печерами. Мінімальний розмір печери є довільним і залежить від розміру людини-дослідника, але діаметр 0,3 м є прийнятним наближенням. Довільна мінімальна довжина печери також зазвичай використовується в 5 м, хоча печери, коротші за 5 м, можуть бути залишками історично довгих ходів, більшість з яких були скорочені ерозією. Як обговорювалося в попередньому розділі, карстові печери утворюються шляхом розчинення і є частиною спектру порожнин, розміри яких коливаються від приблизно 1 мм до десятків метрів. Широко розрізняють епігенні та гіпогенні печери. Епігенні печери утворюються там, де вода спускається з поверхні під дією сили тяжіння і розчиняє породи. У випадку карбонатних порід розчинення відбувається вугільною кислотою, яка утворюється при розчиненні вуглекислого газу у воді. Навпаки, гіпогенні печери утворюються рідинами, що течуть вгору і поповнюють кавернозну зону з нижчих рівнів гірських порід і не залежать від місцевих поверхневих джерел кислої води. Ці елементи походять або з віддалених джерел (обмежених пластами з меншою проникністю), або з глибоких джерел (зазвичай геотермальних) і не залежать від підживлення з вищезрешованої або безпосередньо прилеглої поверхні землі. Як наслідок, більшість гіпогенних печер мають незначну вираженість поверхні або зовсім її не мають. Третій тип карстових печер утворюється там, де карбонатні породи виступають на узбережжі, а розчинення відбувається на межі прісної та солоної води. Вони називаються флювіальними печерами.

Також до карстових печер (утворених внаслідок розчинення) відносять різноманітні печери, утворені іншими нехімічними агентами разом із сингенетичними печерами (див. Додаток 1). У морському царстві практично кожне узбережжя з твердих скель містить прибережні печери (флювіогенно-абразійні печери), які здебільшого утворені механічними процесами. На суші вітер може сприяти розвитку печер, а підповерхнева механічна ерозія осаду зазвичай утворює ніші, деякі з них можуть досягати розмірів печери. У всьому світі існує багато тисяч вулканічних печер (лавових печер), які утворюються під час епізодичного виверження лави, і оскільки більшість із них утворюються близько до поверхні, поширені лінії обвалу. Печери також утворюються у кризі під глетчерами, куди можна потрапити, як, наприклад, у національному парку Ватнайоккуль в Ісландії. Сингенетичні печери, які утворюються під час відкладення, також зустрічаються в туфі та травертині, як це спостерігалось в Хуангуошу в Гуйчжоу, Китай.





*Приклад активної епігенної печери зі спелеотемами та уламковими відкладеннями. Барадла знаходиться в печерах Аггтелек і Словацького карсту, що входять до списку Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, Угорщина. Печера також є біосферним заповідником ЮНЕСКО та Рамсарською територією. Фото Чаба Егрі.*

### **Захист печер и карсту**

МСОП ідентифікує територію під охороною як «чітко визначений географічний простір, який визнано і який регулюється за допомогою правових чи інших ефективних способів для досягнення довгострокового збереження природи з пов'язаними екосистемними послугами та культурними цінностями». Вони розширили це, встановивши шість категорій регулювання та чотири типи управління (див. Інтернет-ресурси). Форми рельєфу та печери конкретно згадуються в Категорії III «Пам'ятка природи або об'єкт» як «території, відведені для охорони конкретної пам'ятки природи, якою може бути рельєф, морська гора, морська печера, геологічний об'єкт, такий як печера, або живий об'єкт, як прадавній гай». Очікується, що поверхневі карстові форми рельєфу та печери в цьому типі заповідної території будуть добре задокументовані та захищені. Однак ті печери та карстові території, які присутні в кожній з інших категорій, можуть не отримати такого ж ступеня уваги, особливо якщо вони становлять лише невелику частину загальної території, що охороняється, або метою є захист інших об'єктів, що становлять інтерес. Ця проблема виникає в різних розмірах і типах територій під охороною. Наприклад, організація захисту дикої природи може придбати ділянку землі з головною метою управління флорою та фауною. Якщо карбонатні породи виступають на частині території, то, швидше за все, є карстові форми рельєфу та печери, які не можуть становити прямого інтересу для власників. Це можна побачити в міжнародному масштабі, де захист пропонується за допомогою чотирьох охоронюваних територій Організації Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури (ЮНЕСКО), що містять ділянки карбонатного або евапоритового карсту: біосферні заповідники (23%), Рамсарські території (5%), об'єкти всесвітньої спадщини (7%) та глобальні геопарки ЮНЕСКО (38%). Однак ці цифри маскують значну внутрішню мінливість, оскільки деякі території майже повністю вкриті карстом (наприклад, WHP Шкоцяньських печер у Словенії, яка також є Рамсарською територією та біосферним заповідником), тоді як на інших більша частина території може бути некарстовою, з невеликими ділянками вапняку (наприклад, WHP Tassili n'Ajjer в Алжирі). Ще одна проблема виникає, коли ділянка, яка містить печери або карст, охороняється переважно через інші об'єкти; наприклад, кілька WHP з вмістом печер або карсту, були визначені, як ті, що потребують охорони через їхню культурну цінність. Важливо, щоб усі природоохоронні території, які містять карст, незалежно від того, визначені МСОП чи іншими організаціями, регулювалися таким чином, який поважає особливий характер карстового середовища.

### **Карст і розчинність порід**

Основну групу порід з високою природною розчинністю складають карбонати (вапняк, доломіт і мармур) і евапорити (сіль, гіпс і ангідрит). За певних умов силікатні породи достатньо розчинні, тому можуть утворюватися карстові поверхні та печери. Печери частіше зустрічаються в карбонатних і евапоритових породах, хоча є деякі обширні карстові території

без печер. В Англії та Великобританії є поверхневі карстові форми рельєфу: долини та суходоли, деякі понори – у районах, вкритих вапняками крейдяного та юрського періодів. Відстеження ґрунтових вод продемонструвало швидкий потік до їхніх джерел, однак існує лише одна гідрологічно активна печерна система довжиною понад 50 м.

Там, де карбонати та евапорити занурюються під некарстові породи, циркуляція води триватиме, і можуть утворюватися печери. У штаті Кентуккі, США, вапняк перекритий пісковиками. Більшу частину своєї довжини Мамонтова печера (штат Кентуккі, найдовша печера у світі та об'єкт Всесвітньої спадщини) простягається під цими не вапняковими скелями. У випадках міжпластового карсту замкнені западини в некарстових породах (капрокові долини) на поверхні спричинені обваленням карстових порід на глибині. В іншому місці може не бути поверхневих доказів великого печерного проходу, представленого нижче, одним із найкращих прикладів є Огоф Дренен, Уельс, Великобританія. Менше 15% із 70 км відомих проходів знаходяться під ділянками, де карбонатні породи проступають на поверхню, а решта печери проходить під ділянками, які не можна вважати карстовими на основі рельєфу поверхні.

Епігенні печери утворюються там, де вода спускається з поверхні, а у випадку карбонатних порід розчинення відбувається вугільною кислотою, утвореною тоді, коли вуглекислий газ розчиняється у воді; евапоритові породи не потребують кислоти і розчиняються в чистій воді. Навпаки, гіпогенні печери утворюються кислими термальними водами, що піднімаються з глибини. Гіпогенні печери зазвичай мають невелику поверхню або зовсім її не мають. Розташована під ландшафтом із невеликою кількістю поверхневих карстових елементів і доступна лише через єдиний шерлоп, утворений обвалом, печера Лечугілла в національному парку Карлсбадські печери, об'єкті Всесвітньої спадщини в штаті Нью-Мексико, США, простягається на 242 км печерного проходу з 480 м вертикального діапазону. У деяких випадках гіпогенні процеси сформували великі камери, які згодом руйнувалися і створювали западини, які можуть досягати кількох сотень метрів завширшки та завглибшки, як це спостерігалось з обруками Туреччини, які врізалися в інакше пласке та вапнякове плато без наявних особливостей.

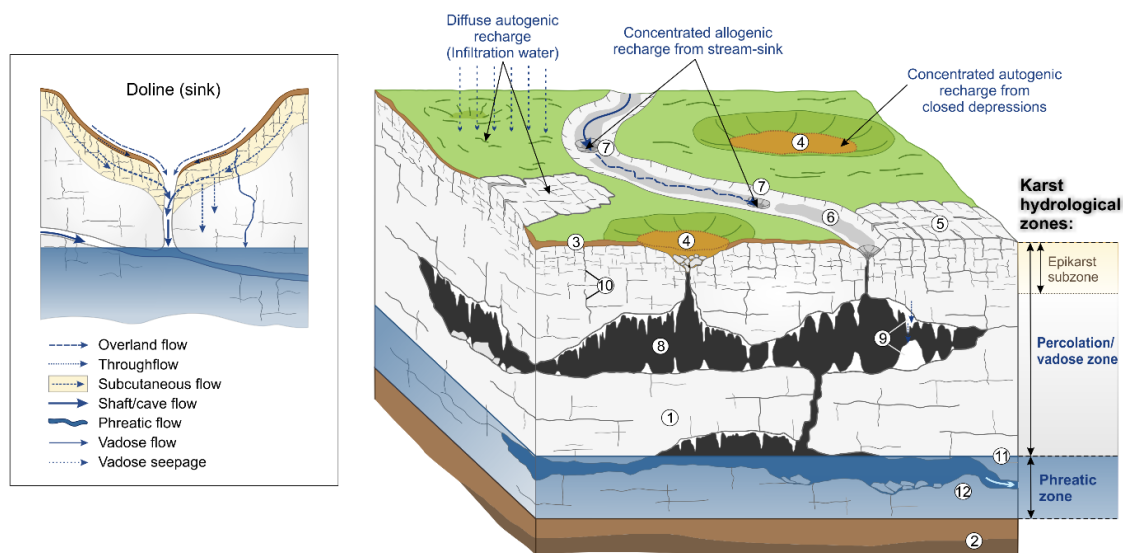


Схема карстової гідрологічної системи. Діаграма Марії-Лаури Турле та Джона Ганна; зміст вставки змінено з Gunn (1985). Ключ: 1 – Карбонатна основа (наприклад, вапняк); 2 – Непроникна корінна порода; 3 – ґрунтовий покрив; 4 – Долина; 5 – Карен; 6 – Суходіл; 7 – Понор (раковина); 8 – печера; 9 – Спелеотеми; 10 – Суглоби або переломи; 11 – рівень ґрунтових вод; 12 – сифон.

Якщо підсумувати: форми рельєфу, які найчастіше вважаються карстовими, мають характерні форми рельєфу на поверхні (понори, сухі долини, карени) з печерами під ними. Однак є території з карстовими формами рельєфу на поверхні, але в яких відсутні печери, та інші території з печерами на глибині, але в яких відсутні поверхневі карстові форми, або які мають лише міжпластові карстові форми рельєфу.

Найбільш очевидні карстові умови виникають там, де карбонатні та евапоритові породи виходять на поверхню на великій території (відкритий карст), але в багатьох зонах вони вкриті неконсолідованими відкладеннями, накопиченими під час еволюції ландшафту. Вони називаються мантійними або закритими карстами; відрізняються від покритих карстів, де ландшафт еволюціонував, але потім був заповнений і покритий осадовою породою або більш молодими породами. У більшості випадків це покриття зменшує транспорт рідин і опадів, і ці умови можна описати як викопний карст або палеокарст. Проходи з неактивними потоками іноді називають «викопними», хоча це загальне використання не є абсолютно правильним. Ці проходи є просто «реліктовими», оскільки в більшості випадків вони все ще розвиваються внаслідок надходження перколяційної води, яка живить спелеотеми (загальний термін для всіх утворень у печерах), або механічного руйнування даху чи стінок проходу.



*Вражаючі гіпсові спелеотеми в залі Chandelier Ballroom, печера Лечугілла (Карлсбадські печери, об'єкт Всесвітньої спадщини), Нью-Мексико, США. Лечугілла — це гіпогенна печера, до якої можна отримати доступ через шахту довжиною понад 200 км. Фото Райнера Штрауба*

## Деякі значення печер і карсту

*Окрім важливості збереження прикладів карстових форм рельєфу та ландшафтів як частини стратегії збереження глобального біо- та георізноманіття, карстові території зазвичай становлять економічну, наукову та культурну цінність. Існують різноманітні вимоги, які можуть конфліктувати один з одним.*

Карстові території містять багато природних ресурсів і забезпечують цінні екосистемні послуги:

1. прісна вода для споживання людиною,
2. водні екосистеми та сільськогосподарська іригація;
3. велике біорізноманіття як на поверхні, так і в підземному середовищі;
4. ландшафти та печери з високою рекреаційною та культурною цінністю;
5. ґрунти, які є основою для сільськогосподарського виробництва.

Карстові регіони функціонують як природні поглиначі вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), таким чином сприяють пом'якшенню кліматичних змін. Усі ці ресурси та екосистемні послуги не можна розглядати як ізольовані, оскільки вони тісно взаємопов'язані. Через ці складні механізми зворотного зв'язку вплив на окремі елементи карстової екосистеми може мати неочікувані наслідки для інших елементів або навіть для всієї екосистеми.

Карстові водні ресурси були важливими для людства протягом тисячоліть, у тому числі для споживання людиною, у сільському господарстві (іригація та аквакультура) і протягом останніх ста років – для виробництва гідроелектроенергії. Оскільки карстові джерела, як правило, більші та надійніші, ніж джерела з інших гірських порід, тому вони сильно вплинули на моделі поселення. До 450 року до н.е. карстові джерела використовувалися для іригації в Китаї, тоді як народ майя в Центральній Америці широко використовував печери та сеноти (заповнені водою долини). У 2019 році було підраховано, що близько 10% населення світу (це приблизно 700 мільйонів людей) отримували питну воду або з карсту, або з дискретних джерел, або через свердловини. Найбільшим споживачем карстової води є Китай, де близько 150 мільйонів людей залежать переважно від карстових підземних вод. Сполучені Штати є другими споживачами за

чисельністю населення у приблизно 50 мільйонів людей, переважно в сільській місцевості. Водоносний горизонт Едвардса, штат Техас, США, забезпечує кілька мільйонів людей, в тому числі великі міста, такі як Сан-Антоніо.

Для транспортування карстових підземних вод від джерел до споживачів потрібна значна інфраструктура. Понад 2000 років тому одинадцять довгих акведуків транспортували джерельну воду до старого міста Риму на відстані від 16 до 91 км. Найбільшою карстовою системою водопостачання в Європі є та, яка забезпечує 1,7 мільйона жителів Відня, Австрія, де в 1873 році було урочисто відкрито перший із двох головних акведуків. Протягом 20-го та 21-го століть подібні великі інженерні роботи проводилися в багатьох карстових районах, особливо в Динарських карстах Хорватії, Боснії та Герцеговини та карстах Китаю. Вище за течією джерел карстові території характеризуються відсутністю поверхневих вод, що обмежує розвиток. У тих районах, де вапняки мають відносно високу пористість і проникність, бурові свердловини можуть забезпечити достатні запаси (наприклад, у крейдяних вапняках в Англії), але в багатьох вапняках існує лише 1-2% шансів продуктивності свердловини. Як промислові, так і сільськогосподарські забруднювачі можуть швидко переноситися через підповерхневі мережі карсту, що робить ефективне управління землекористуванням надзвичайно важливим.

Карстові території продовжують використовуватися як джерело вапняку для виробництва цементу, оскільки темпи розвитку міст створюють великий попит на вапняк високої чистоти в якості заповнювача. Вапняк також використовується для виробництва сільськогосподарського вапна, як флюс для виробництва чавуну та сталі та як наповнювач у лакофарбовій, пластмасовій та фармацевтичній промисловості. Розробка кар'єрів потенційно може знищити печери та їх вміст, знищити печерні організми та погіршити якість води, однак за умови ретельного управління вплив можна мінімізувати. Видобуток селітри (нітрату калію) в печерах Америки (здебільшого в США та Бразилії) мав важливе значення для виробництва пороху протягом 18-го та 19-го століть. У тисячах печер знищили багатий на нітрати ґрунт, а португальська корона навіть опублікувала інструкції щодо регенерації вилуженого ґрунту, помістивши його назад у печери.

Видобуток печерних покладів гуано для отримання добрив став світовим явищем. До введення штучних або хімічних добрив широко використовувалися природні або органічні добрива з таких джерел, як гуано птахів і кажанів. Пташине гуано видобували на островах Тихого океану, таких як Науру та острів Рідва в Індійському океані, а гуано кажанів досі видобувають у деяких печерах Техасу як джерело органічних добрив. У печері Нія, Борнео, гуано печерного стрижа досі видобувають для добрива, а також більш прибуткові гнізда стрижа збирають на стінах. У Китаї вельми поширений видобуток корисних копалин у карстових територіях: бокситів, свинця, цинка, вугілля. В районі Чапада Діамантіна, Бразилія, у 19-му та на початку 20-го століть спелеотеми, особливо сталагміти та сталактити, також незаконно вивозилися для продажу як сувеніри.

Карстові ландшафти зазвичай відрізняються високим георізноманіттям із великою внутрішньою топографічною варіацією. Таким чином, вони забезпечують більшу різноманітність потенційних середовищ існування, ніж більшість некарстових ландшафтів, і часто відносно ізольовані від навколишнього середовища, наприклад, у карстових ландшафтах. Оскільки печери значною мірою захищені від стихії, вони можуть надавати унікальні тривимірні зображення геологічних зв'язків, які інакше неможливо побачити через відсутність відповідних відслонень або які були стерті вивітрюванням на поверхні або вкриті ґрунтом і рослинністю. З кінця 20-го століття вони використовувалися як легкодоступні поверхневі аналоги карбонатних нафтових резервуарів. У тропічному середовищі вони часто містять велике біорізноманіття видів тварин і рослин, в тому числі рідкісні та ендемічні види над землею і під землею. Деякі карсти слугували притулками для видів, збережених під землею через зміни навколишнього середовища, які знищили їхніх поверхневих родичів, або на поверхні в прохолодному вологому мікрокліматі, утвореному долинами та входами в печери.

Кажани, ймовірно, істоти, яких найчастіше асоціюють з печерами, але багато інших, часто ендемічних хребетних і безхребетних тварин населяють карст, деякі з них можуть мати лише невелику популяцію або мають змогу добре пристосовуватися до сталого підземного середовища. В багатьох, але не в усіх карстах, умови навколишнього підземного середовища можуть бути майже постійними, а печерні види можуть мати слабку толерантність до змін підземного середовища. У В'єтнамі лангур Делакюра (*Trachypithecus delacouri*), вид приматів, що перебуває під загрозою зникнення, є ендемічним для деяких карстових районів. У великому карсту на кордоні між В'єтнамом і Лаосом великі блоки вапнякової місцевості розділені річками, які створюють ефективні бар'єри для розповсюдження видів. Існує принаймні шість видів листоїдних лангурів (*Trachypithecus* spp.), кожен з яких є ендемічним для певного вапнякового блоку. Подібним чином у провінції Гуансі, Китай, фрагментація середовища проживання розділяє популяції білоголового лангура (*Trachypithecus leucoscephalus*). Унікальні підземні середовища можуть бути утворені гіпогенними печерами, які виникли в результаті спелеогенезу з сірчаною кислотою. Вони містять однаково виняткові спільноти чи екосистеми, часто повністю ізольовані, які еволюціонували повністю незалежно від поверхневого середовища. Багата H<sub>2</sub>S печера Мовіле в

Румунії є домом для принаймні 51 виду, з яких 34 є ендемічними. У водоносному горизонті Едвардса мешкає понад 60 видів, в тому числі високоприсосовані риби і саламандри, деякі види відомі лише з колодязів глибиною понад 250 м.

Захищене середовище відкладень у печерах сприяє збереженню викопного кісткового матеріалу та пов'язаної з ним ДНК. Тварини можуть падати, входити в пошуках води або бути змитими в печери, де їхні накопичені рештки дають змогу свідчити про зміну фауни з часом. Колонії кажанів і гніздів'я сов у печерах сприяють накопиченню кісток і є гарним зразком фауни менших хребетних. Використання печер ссавцями як притулків, місць сплячки або лігвищ для молоді з неминучою загибеллю деяких особин на місці дозволяє вивчати ряди зростання та відносини хижак-жертва. Підказки з середовища відкладення всіх цих останків створюють картину довгострокової зміни фауни в залежності від клімату, що може допомогти розробити інструменти для прогнозування того, де види можуть існувати на тлі швидкої сучасної зміни клімату, експансії людини та фрагментації середовища існування. Скам'янілі рештки є єдиним засобом для оцінки довгострокових моделей зміни фауни в залежності від клімату та надання вагомих даних для таких прогнозних моделей.

Оцінки минулих кліматичних умов давно становлять інтерес для природничих наук, оскільки вони дають деяке пояснення мінливості поширення видів рослин і тварин на планеті, в тому числі наші власні види. З 1960-х років відновився інтерес до минулої реконструкції клімату як засобу забезпечення аналогів атмосфери, яка, ймовірно, буде результатом глобального потепління. Спелеологія розвинулась, щоб забезпечити тривалі архіви палеоклімату. Усередині печер сталагміти утворюються шар за шаром, часто щорічно, і, таким чином, поздовжній розріз такого сталагміту забезпечує мікростратиграфію, яка може охоплювати тисячі до десятків тисяч років. Датування уранового ряду забезпечує абсолютну хронологію, яка може мати розбіг від ~650 000 років (U-Th) до кількох мільйонів років (U-Pb) тому. Аналіз стабільних ізотопів може стати зразком зміни клімату протягом цих часових масштабів. Записи ізотопів кисню в китайських печерах надали довгострокові дані про зміни як сили східно-азіатського мусону, так і глобального клімату в цілому. Розширений китайський рекорд охоплює останні 640 000 років з кількох місць і є одним із найдовших безперервних кліматичних записів на планеті. Сукупність спелеотемів у середземноморських флювіогенних печерах є винятковими детальними архівами минулих змін рівня моря, починаючи з епохи пліоцену. У тропічних лісах Амазонки ізотопи вуглецю зі сталагмітів дали важливу інформацію про стійкість лісу. Ці печерні відкладення можуть дати підказки щодо майбутніх кліматичних прогнозів, які високо цінюються з огляду на неминучу проблему щодо зникнення густонаселених прибережних територій через глобальне підвищення рівня моря.



*Відкладення кальциту в спелеотемах із крапельної води забезпечує цінний довгостроковий архів змін у хімії ізотопів кисню і, отже, проксі-запис клімату минулого. Фото Чаба Еґрі.*

Карст і печери мають дуже високу культурну та рекреаційну цінність. На кінець 2021 року зафіксовано 76 об'єктів всесвітньої спадщини в сорока чотирьох країнах, а також задокументовано 68 глобальних геопарків ЮНЕСКО в двадцяти шести країнах з карбонатним карстом і печерами. Таким чином, туризм є основною економічною діяльністю в деяких карстах, включаючи використання як розвинених, так і незабудованих печер, а також поверхневих зон, що створює місцеву зайнятість. Зростання печерного туризму, від скромних початків наприкінці 19 століття з карбідними ліхтарями до сьогодні, коли використовуються світлодіоди та електричне освітлення, різко розширило використання печер та діапазон впливу на них. У світі існує приблизно 1600 показових (екскурсійних) печер, деякі з них щорічно приймають кілька сотень тисяч відвідувачів, наприклад, Мамонтова печера, що є об'єктом Всесвітньої спадщини, США, приймає 500 000 відвідувачів, а Постойнська печера, Словенія, - понад мільйон. Ця статистика, ймовірно, недооцінює кількість виставкових печер у Китаї, де може бути понад 300 відкритих печер для відвідування. У 2019 році було 150 мільйонів відвідувачів, зацікавлених у печерах, і до 70 000 людей можуть бути працевлаштовані у всьому світі у сфері печерного туризму. Дистанційна оцінка також можлива за допомогою онлайн-сайтів з перекладом, відео та фотографіями, виробництво яких може бути суттєвим компонентом деякої місцевої економіки. Такі медіа зміцнюють цінність печер і карсту для туризму та як середовища, що потребує догляду.

Печери завжди використовувалися як укриття, як житлові приміщення та як притулки під час конфліктів. Вони використовуються як святині чи храми – як священні місця, які викликають почуття благоговіння, а також сприяють дотриманню релігійних обрядів, будучи місцями, відокремленими від повсякденного життя. Печери часто вважаються неоднозначними просторами, які пропонують захист і притулок, але також можуть бути місцями ув'язнення людей. У багатьох культурах місце на землі ідентифікується як жіноче, а печери ідентифікуються як символи лона Матері-Землі та пов'язуються з народженням і відродженням. Існують міфи про людей, які заходять у печери та потрапляють у пастку, щоб звільнитися після певного випробування. Хоча сакральність може бути вкладена в багато інших природних форм і об'єктів, таких як дерева, джерела та гори, проте найдавніші відомі священні місця в доісторичні часи були в природно сформованих печерах, таких як печери в долині Дордонь у Франції. Тайські буддистські чернці шукають печери як тихі притулки для практики медитації. Якщо чернець стане відомим майстром медитації, то його послідовники можуть перетворити печеру на більш вишукану святиню на честь наставника.

Природні печери здавна були об'єктом шанування і часто фігурували як у міфологічних, так і в релігійних історіях. Філософ Порфірій (234–305 рр.) вважав, що до появи храмів усі релігійні обряди відбувалися в печерах. Він стверджував, що архітектура храмів імітує темряву та єдиний вхід у більшість печер, і що проникнення світла в печеру в певну пору року мало ритуальне значення. Священна печера також може містити священне джерело, яке, за віруваннями, має особливі цілющі чи магічні властивості.

У католицьких країнах, таких як Бразилія, святині та навіть цілі церкви всередині печер є популярними місцями паломництва, причому велика печера Бом-Жезус-да-Лапа містить дві церкви, які є місцями поклоніння з кінця 1600-х років, і щороку їх відвідує понад мільйон людей. Печера Лурд у Франції визнана римсько-католицькою церквою місцем появи Діви Марії в 1858 році. Ця печера щороку приймає мільйони туристів, багато з яких шукають зцілення або духовного зростання.



*СПечери та карст мають дуже високу культурну та рекреаційну цінність. Двоє спелеологів досліджують природне підземне озеро в Кризна Яма, Словенія. Фото Чаба Еґрі.*

У південно-східній Азії є багато печерних храмів, тому що це зручні порожнини поблизу міст, а також тому, що вони мають таємничу атмосферу з прихованими залами. Багато печер у Таїланді, Лаосі та деяких містах Китаю містять буддистські святині з кількома даоськими та буддистськими храмами в печерах поблизу Іпоха на півночі Малайзії. Однак в Індії та Малайзії багато печер використовуються як індуїстські храми. Найвідоміший печерний храм знаходиться в комплексі печер Бату поблизу Куала-Лумпура (Малайзія), де індуїстська спільнота проводить щорічний фестиваль Тайпусам. Він став місцем паломництва не лише для індуїстів Малайзії, а й для індуїстів з інших країн: Індії, Австралії та Сингапура. На японському острові Окінава кілька синтоїстських святилищ розташовані біля входів у печери.



*Буддистська печерна святиня, річка Нам Оу, Лаос. Фото Девіда Гіллсона*

Таким чином, критерії, які використовуються для оцінки значущості окремої печери, можуть містити:

- геологічні міркування – характерні особливості, що стосуються структури, стратиграфії, палеонтології чи мінералогії.
- геоморфологічні міркування – морфологія проходу, уламкових відкладень та спелеотемів, особливо там, де вони є доказами поверхневих середовищ минулих часів.
- гідрологічні міркування – наявність великих підземних потоків або озер, підземних розривів поверхневих дренажних вододілів або ключових елементів у розумінні мережі водотоку.
- біологічні міркування – пов’язані з видовим багатством, наявністю рідкісних і зникаючих видів, незвичайними трофічними структурами або ключовими місцями розмноження кажанів.
- археологічні та культурні міркування - наявність глибоких, добре стратифікованих відкладень, роль печери в регіональній доісторичній еволюції; приклади історичного використання печери, як то: видобуток корисних копалин або управління водними ресурсами, або її духовне та релігійне значення.
- географічні міркування – віддаленість і цінність дикої природи, близькість до паркової інфраструктури, такої як дороги та кемпінги, можливості відпочинку та доступність від основних населених пунктів.

Аулер та інші (2018) запропонували один підхід до встановлення пріоритетів щодо захисту печер і навколишнього середовища шляхом ретельної оцінки рівнів значущості. Вони використали 70 параметрів, що охоплюють вищевказані міркування, у вибірці з 401 печери, яку вони проаналізували статистично. Їх результати показали, що біотичні параметри



поряд із широкими розмірами довжини та площі були найбільш корисними. Цей підхід можна було б адаптувати та вдосконалити для інших карстових територій за наявності відповідних даних.

## Тези

- (1) Ефективне планування карстових регіонів вимагає повної оцінки всіх їхніх економічних, наукових і людських цінностей у місцевому культурному та політичному контексті.
- (2) Регулятивні органи повинні бути обізнаними в наступному: в карстових водозбірних басейнах поверхневі дії призводять до прямого чи непрямого впливу під землю або далі за течією.
- (3) Добре розуміння особливостей печер та їх унікальних цінностей має важливе значення для покращення адміністрування будь-якої карстовою територією.

## Особливості карстового середовища і печерних систем

*Розчинна порода та розвиток підземного дренажу через канали, які об'єднують поверхневі та підземні процеси, утворюють особливі та складні риси карстових ландшафтів. Цей високий рівень зв'язку означає, що будь-яка зміна або вплив на поверхні швидко переноситься під землю, впливаючи на середовище печери та залежне від нього наземне та водне життя.*

Поверхнєве середовище карсту може бути суворим. Карстове середовище періодично посушливе на поверхні, навіть у вологому кліматі, тому що дощова вода швидко стікає під землю. Якщо корінні породи не перекриті поверхневими відкладеннями, карстові поверхні, як правило, кам'янисті, з неглибокими та нерівними ґрунтами. Кількість розчинних мінералів, таких як кальцит і доломіт, у карбонатній основі часто досягає 90% – 99%. Відповідно, загальний вміст нерозчинних мінералів, які призводять до утворення ґрунту, становить лише 1% – 10%. Таким чином, рослинність, що зустрічається на карбонатному карсті, має тенденцію бути адаптованою до кам'янистих ґрунтів, високого вмісту кальцію (лужності) та сухих умов. Винятком є випадки, коли розчинні породи були перекриті поверхневими відкладеннями зовнішнього походження (алогенними): мореною (на півночі Сполучених Штатів), лесом (в Англійському районі Пік) або вулканічним попелом (у Новій Зеландії Кінг Кантрі Карст). У тропічних районах покритий ґрунтом карст частіше зустрічається під рослинністю тропічних лісів або саван і може мати значні ґрунтові оболонки, отримані з вулканічного попелу.

Поверхнєві екосистеми в карсті часто сильно відрізняються від прилеглих ландшафтів з точки зору топографії, геоморфології, гідрології, ґрунтів і рослинності. Карстові ландшафти з їх нерівним рельєфом і суворими екологічними умовами пропонують більше різноманіття середовищ існування, ніж некарстові ландшафти. Таким чином, вони сприяють більшому біорізноманіттю рослин і тварин, включаючи рідкісні та ендемічні види. У Лаосі відомий 21 вид каперсу (*Sarparis* spp. L.), більшість з якого ендемічна для однієї карстової ділянки. Подібним чином близько 90 видів геконів із зігнутими пальцями (*Cyrtodactylus* spp.) є ендеміками карстових ділянок у всьому ареалі від Індії, південно-східної Азії до Меланезії.

Підземні середовища в карсті є характерними і повніше розвиненими, ніж у некарстових породах. Усі типи гірських порід допускають деякий ступінь руху ґрунтових вод у вигляді тріщинного потоку, але лише в карстових породах розчинення водою збільшує тріщини, утворюючи канали або печери, які направляють більшу частину або весь поверхнєвий дренаж під землю. Печери в карбонатних породах, як правило, більші, довші та глибші, ніж печери в інших типах порід, таких як пісковик (кварцит), конгломерат, лава або евапорити. Оленьча печера, Саравак, і печера Хан Сон Дун, В'єтнам, є одними з найбільших у світі печер з точки зору постійного розміру проходу, тоді як Мамонтова печера, США, є найдовшою печерою, а печера Верьовкіна, Грузія, є найглибшою (усі станом на січень 2022 р.).

Окрім печер відомих розмірів є частково досліджена та, ймовірно, обширна підземна порожнина в карсті з наявністю каналів діаметром менше 0,3 м, і через це недоступна для людини. Це місце існування мезокаверн. Хоча станом на сьогодні його мало вивчено і вважається, що він має велике значення для підземної біоти, а в деяких карстових територіях може бути притулком для більшості видів «печерної фауни». Над рівнем ґрунтових вод заповнені повітрям мезокаверни мають більш стабільний мікроклімат, ніж печери більшого діаметру, і тому можуть забезпечити печерній фауні оптимальні умови. Можна припустити, що найбільш загальне обговорення антропогенних впливів або

пом'якшення впливу на «печерні» середовища проживання чи стигофауну впливає на такі канали меншого діаметру та їх фауну.

Деякі печери здебільшого є реліктовими. Вони отримують лише воду, яка просочується з поверхні, тоді як інші печери є активними: вони отримують воду та осад з поверхневих потоків, в тому числі і з деяких періодичних повеней. Відсутність сонячного світла для первинного карсто- і печероутворення означає, що більшість органічного матеріалу для печерного живлення має надходити з поверхневого середовища. Однак деякі печерні екосистеми покладаються на геохімічні джерела енергії, наприклад, на окислення сульфідів.

Найбільш очевидними особливостями печерного середовища є знижений до загальної відсутності рівень освітленості та майже постійний температурний режим далеко від входів. Життя в цілковитій темряві вимагає, щоб інші органи чуття – головним чином дотик і нюх – стали провідними. Таким чином, фауна, яка повністю адаптована до печер, має сильно збільшені вусики або подовжені відростки, а також спеціалізовані органи для виявлення вібрації. Очі можуть бути значно зменшені в розмірі або взагалі відсутні. Ці ознаки називаються трогломорфією, наземні тварини цього виду – троглобіонтами, а їхні водні побратими – стигобіонтами.

Підземна фауна була класифікована відповідно до положення та тривалості проживання в печерах як трогло- або стигобіонтів (обов'язкові печерні мешканці), -філів (факультативні печерні мешканці) та -ксенів (печерні відвідувачі). Сліпа печерна риба є гарним прикладом стигобіонта, адаптованого до печери. Однак є винятки з цього, і є облігатні печерні тварини, які мало або зовсім не пристосовані до темряви.

Підземну фауну, особливо стигофауну, можна знайти в некарстових середовищах, але печери та системи карстових підземних вод пропонують більшу різноманітність середовищ існування та більші порожнини. Таким чином, підземна фауна карсту, як правило, має більшу біорізноманітність, ніж у некарстових підземних середовищах. Підземні угруповання часто характеризуються великою кількістю рідкісних та ендемічних видів через їх високий рівень ізоляції. Тому троглобіоти, не маючи можливості покинути свої підземні місця існування, часто обмежуються однією карстовою територією або печерною системою.

Карстові водойми непросто розмежувати. Дренажні басейни та меандри, за якими йде карстова вода, неочевидні, оскільки дренажні шляхи в основному є підземними, а басейни підземних вод зазвичай не слідують поверхневим вододілам. Крім того, вододіли ґрунтових вод у карсті найкраще розглядати як зони, оскільки їх планове положення може змінюватися між умовами високої та низької води. Велика частина води, що проходить через карст, вноситься понорними водотоками. Якщо ці потоки беруть початок з непроникних гірських порід, які лежать за межами карстової області, їх називають аlogenними потоками, на відміну від автогенних потоків (або води), які повністю походять з карстових порід.

Ґрунти на карсті часто крихкі та вразливі до фактично незворотної ерозії, принаймні в людському часовому масштабі. Зникнення або деградація рослинності (наприклад, шляхом вирубування лісу, випасу худоби або землеробства) може спричинити сильну ерозію ґрунту та призвести до «скелястого опустелювання», головної екологічної проблеми в Динарському карсті Європи та Південно-Китайському карсті. Деградація природної рослинності та ерозія ґрунту взаємопов'язані (тобто деградація рослинності може спричинити ерозію і навпаки). Ерозія ґрунту та деградація рослинності можуть призвести до втрати середовища існування та, таким чином, зменшення біорізноманіття поверхневих карстових екосистем. Ерозія ґрунту та пов'язане з цим зниження рослинності та біологічної активності знижує ефективність карстових ландшафтів або діє як природний поглинач для атмосферного CO<sub>2</sub>. Розчинення карсту становить до 29,4% наземного поглинання CO<sub>2</sub> або 10,4% загальних антропогенних викидів CO<sub>2</sub>.

Охорона природних процесів, особливо гідрологічної системи, є основною потребою для захисту та управління карстовими ландшафтами. Це передбачає необхідність цілісного підходу з ретельним управлінням рослинністю та ґрунтами всієї водозбірної території для захисту ґрунтових вод і збереження біорізноманіття. Потреба в повному управлінні водозбірним басейном більш важлива для карстових ландшафтів, ніж для багатьох інших осадових порід. Управління якістю води аlogenних потоків, що стікають у карст, і захист долин, які забезпечують локальне живлення, є основними проблемами управління всіма карстовими територіями.

Зараз є відносно небагато місць, де існує можливість зберегти справді первинні карстові ландшафти. На додаток до збереження та підтримання таких місць, потрібно приділяти увагу виправленню негативного впливу минулого та

теперішнього адміністрування, в тому числі відновлення природної рослинності та середовища проживання фауни в деградованих карстових ландшафтах. Ці види покращень можуть допомогти відновити природні карстові процеси.

## Тези

- (4) *Охорона природних процесів, особливо гідрологічної системи, є базовою для захисту карстових ландшафтів та їхнього адміністрування.*
- (5) *Головним серед карстових процесів є перепади вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) від низької концентрації у зовнішній атмосфері через значно підвищену концентрацію у ґрунтовій атмосфері до зниженої концентрації у проходах печер. Підвищена концентрація вуглекислого газу в ґрунті є результатом дихання кореневої системи рослин, активності мікробів і здорової фауни безхребетних у ґрунті. Цей перепад необхідно підтримувати для ефективності процесу карстоутворення.*
- (6) *Потреба в повному регулюванні водозбірного басейну є більш важливою для карстових ландшафтів, ніж для багатьох інших осадових порід.*
- (7) *Зараз існує відносно небагато карстових ландшафтів, у яких не виявлено антропогенного втручання, і вони мають охоронятися та підтримуватися на рівні високого пріоритету. Слід сфокусувати увагу на виправленні будь-яких негативних впливів минулих і теперішніх методів адміністрування в інших місцях карстових ландшафтів.*

## Масштаби регулювання карстових зон

Зростає усвідомлення того, що рекомендації з управління повинні враховувати природні та накладені варіації у структурі та функціях карстових систем. Єдиний припис управління, застосований до складної карстової гідрологічної системи (або складної інтегрованої системи печер), навряд чи зможе належним чином захистити поточні геоморфологічні та екологічні процеси в різних частинах системи, і тому планування управління має враховувати фактори масштабу в карстовій системі. Навіть у посушливих карстових районах може бути сильний градієнт мікроклімату та джерел енергії, що простягаються в систему печер від входу. Тому рекомендації з управління повинні враховувати природні зміни в екології печер.

Для некарстового водозбору, де водні потоки протікають переважно на поверхні, концепція річкового континууму стверджує, що біохімічні процеси річки тісно пов'язані з її фізичними характеристиками, особливо температурою води, режимом течії та транспортуванням наносів. Таким чином, біота передбачувано змінюється вниз за течією, як і сама річка. Це означає, що біота пристосовується до конкретних умов короткої ділянки потоку, або «ділянки потоку», де існують схожі геоморфологічні та екологічні умови.

Для такого водозбору ми могли б концептуалізувати просторові масштаби управління як:

Весь водозбірний басейн > підводозбірний басейн (визначений порядком потоку, літологією) > ділянка потоку (подібний градієнт, субстрат, режим течії) відповідно до концепції річкового континууму.

Однак для карстового водозбору наша концепція буде такою:

Додатковий некарстовий водозбір > карстовий водозбір > карстові підводозбірні > печерний прохід (різні типи зв'язності та рівні енергії) > джерело.

Надходження їжі та енергії із зовнішніх джерел стає критично важливим для виживання життєздатних популяцій організмів, що утворюють печерну екологію. Основним зовнішнім джерелом є органічне сміття, що змивається в печеру проточною водою у вигляді перколяції або у вигляді окремих печерних потоків. Цей матеріал може бути дрібним гумусом, який легко утилізується печерною біотою, або більш грубим сміттям (листя та гілки), який спочатку має бути розщеплений бактеріями та грибами, щоб бути придатним для використання. Таким чином, печера еквівалентна верхів'ям поверхневого потоку. Можна очікувати, що місця в межах рідко затоплюваної печери будуть бідними у фауні, тоді як місця вздовж основних потоків із прямим зовнішнім сполученням можуть бути досить багатими на види та мати високу загальну кількість організмів. Хоча є ризик, що ці види та організми вимиваються через великі повені, популяції можуть повторно колонізуватись із тріщин скель або мезокаверн. Іншим значним джерелом зовнішнього матеріалу є процеси падіння повітря під долинами, шахтами або системами розломів, відкритими до поверхні. Це особливо важливо для високих сухих проходів, віддалених від джерел води, або для печер у сухому кліматі. Проникнення коренів дерев у

печерні проходи є дуже важливим джерелом енергії в більшості тропічних і деяких печер помірного клімату. Кажани та птахи можуть бути важливим зовнішнім джерелом енергії, наприклад, гуано та трупів, а в деяких екосистемах вони будуть основним або єдиним джерелом енергії.

Частота та величина надходження енергії в екосистему печери стають дуже важливими для підтримки популяцій організмів. У районах з холодним кліматом, де рух води обмежений весняною відлигою, біологічна активність відбувається поетапно відповідно до основного припливу води та органічних речовин, тоді як в інший час біологічна активність може бути призупинена. У районах із сильними сезонними опадами організмів, можливо, доведеться адаптуватися, щоб пережити посуху до шести місяців; можливо, довше, якщо мінливість клімату значна. Печерна фауна у тропічних областях менш обмежена, проте активна протягом року, хоча відтворення може відбуватися поетапно, щоб зменшити конкуренцію за ресурси. Важливо визнати, що багатство видів, пов'язане з органічною речовиною, не завжди відображає багатство троглобіонтної фауни, де присутня органічна речовина. Троглобіонти найчастіше зустрічаються в бідних на їжу печерних районах і рідше у тропічних печерах, де органічний матеріал більш розсіяний. Значні зміни величини та частоти надходження води можуть мати серйозні наслідки для біології печер і є поширеними у сільській місцевості, де карстова вода відводиться або надмірно використовується, або якщо зміни на поверхні, такі як розчищення рослинності, змінюють кількість і якість перколяційної води.

Печерний хід або канал стає еквівалентом потоку, а також основною одиницею адміністрування. Керувати меандром доведеться інакше, ніж проходом вищого рівня, у якому вода тече рідко, якщо взагалі є. Зв'язок цих різних типів проходів стає дуже важливим для розуміння потоків маси та енергії в будь-якій печерній системі. Печерні проходи, які є реліктовими, мають гіпогенне походження або знаходяться в палеокарсті, мають низьку або нульову зв'язність і мають невелику або зовсім не здатну спроможність відновлюватися після руйнування. Проходи, які періодично затоплюються, мають певну здатність до відновлення залежно від частоти збурень. Активні потоки зі значним відсотком відкладень органічного вуглецю та деяких часток можуть усувати наслідки порушення та підтримувати стійкі екосистеми.

На глибині карсту можуть бути сифони, які мають гіпогенне походження (утворені підйомом підземних вод). У водоносному горизонті Едвардс, штат Техас, є багато місць у водоносному горизонті, які можуть знаходитися на глибині понад 1000 м нижче рівня ґрунтових вод і завжди заповнюються водою. З найбільшою відомою кількістю видів, адаптованих до водоносного горизонту, вони мають унікальну фауну, отриману не з поверхні. Ці види сприйнятливі до видобутку колодязів і потенційного впливу погано обслуговуваних і покинутих шахт. Понад шістьдесят інших водних видів відомі лише з проточних артезіанських свердловин, у тому числі два сліпі соми.

Індивідуальна карстова гідрологічна система (або печерна система) може містити кілька компонентів або типів проходів, від активних поточкових ходів до неактивних, більш високих рівнів, а також погано пов'язаних реліктових проходів. Для кожного з них потрібен інший напрямок управління, але його слід інтегрувати на рівні водозбору або підзбірного басейну, де можуть бути викладені міркування щодо шляхів потоку, джерел енергії, типів і режимів збурень, а також стратегій пом'якшення антропогенного впливу. На найширшому рівні всього водозбору як карстові, так і некарстові

компоненти слід оцінювати з точки зору потоків речовини та енергії, а також можливих джерел збурення та/або забруднення.

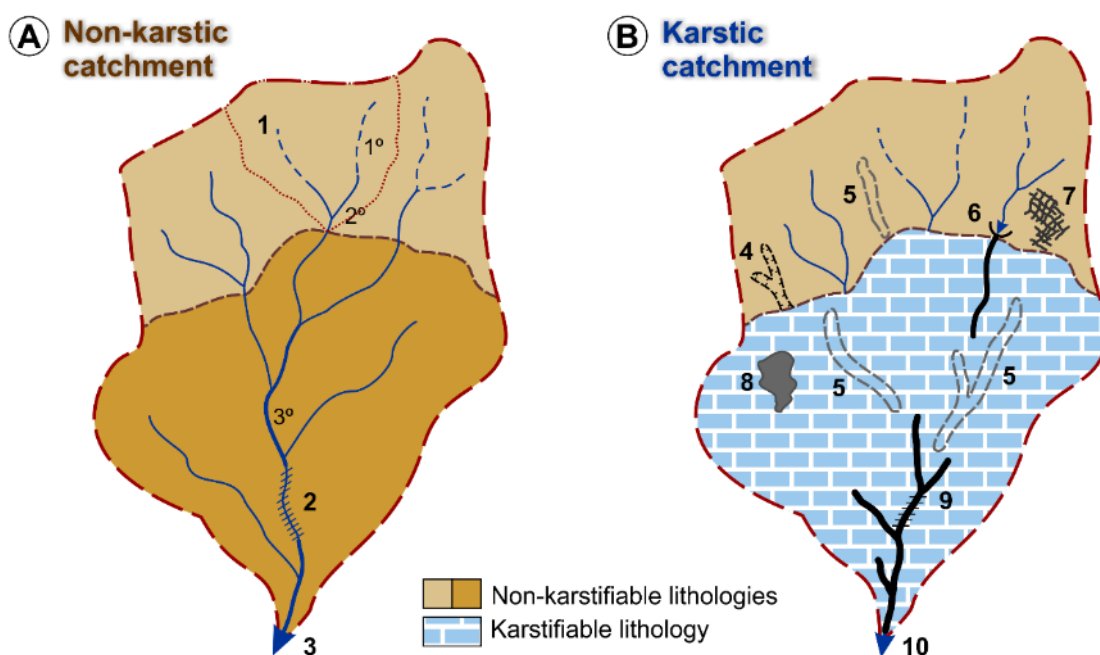
*Схема зв'язності та рівнів енергії компонентів карстових систем*

<b>Компонент карстової системи</b>	<b>Зв'язок з поверхнею</b>	<b>Рівні енергії та потік</b>
Активні понори	Високий	Високі, регулярні повені, що приносять грубі деревні уламки, частинки та розчинений органічний вуглець (DOC)
Інше джерело концентрованого підживлення, переважно закриті западини	Високий	Високі, об'єми води зазвичай нижчі, ніж у струменях, але транспортують рослинне сміття, частинки та DOC
Активне проходження струмка	Високий	Високе, регулярне затоплення, що приносить деякі частинки та DOC
Потік	Високий	Високий, регулярний вихід DOC і звичайних частинок
Неактивний прохід потоку (вищий рівень)	Середній	Середнє, періодичне затоплення, що приносить розчинений органічний вуглець
Реліктова печера (протока стариці)	Середній	Перколяційна вода приносить DOC у вологих зонах; потік вуглецю обмежений у більш сухих областях з низькою перколяцією. Гуано може бути значним
Мезопорожнини або неглибокі підземні місця існування	Середній	Сполучення з потоками, важливим притулком
Гіпогенова печера	Низький	Екосистеми на основі сірки та заліза, локалізований потік вуглецю
Палеокарст	Низький	Дуже низький, потік відсутній

Одним із методів досягнення такого масштабу управління є використання просторових моделей. Індекс карстових порушень, вперше розроблений ван Бейненом і Таунсендом (2005), є методом оцінювання впливу людини на карстові

ландшафти. Він використовує п'ять категорій індексів навколишнього середовища: геоморфологію, гідрологію, атмосферу, біоту та культуру – за якими можна визначити рівні або діапазони порушень. В принципі, індикатори в кожній категорії мають бути недорогими для отримання, легко відтворюваними та мають реагувати на зміни умов навколишнього середовища. Джерела даних містили польові дослідження, просторові дані, топографічні карти, аерофотознімки та експертні висновки місцевих спелеологів та урядовців. Оцінка показників може бути напівкількісною (ранжировані дані, категоризовані території чи відсоток покриття) або якісною (тип поселення або тип розвитку печери). Індикатор можна відкинути, якщо він не стосується відповідної області. Загальний індекс порушень розраховується шляхом ділення суми всіх отриманих балів на загальний можливий максимальний бал для отримання частки. Перевага індексу полягає в тому, що зацікавлені сторони можуть вивчити кожен індикатор і побачити, як він був отриманий, тоді як загальний стан карстового середовища зводиться до легко порівнюваної категорії для еколого-адміністративних органів.

Карстові гідрологічні системи особливо вразливі до забруднення через швидкі зв'язки між поверхнею та водоносним горизонтом. Внутрішня вразливість визначається властивостями карстового середовища, які впливають на ступінь вразливості. Вони стосуються «водопроводу» карсту з точки зору товщини ґрунту та швидкості інфільтрації, щільності тріщинуватості епікарстової зони, розподілу долин та коливань гідравлічної провідності. У поєднанні це визначає потенційну вразливість, тоді як додавання землекористування та інфраструктури (дороги, водопостачання, звалища або точкові джерела забруднення) створює особливу вразливість. Ці підходи до оцінювання вразливості просторово інтегровані в моделі вразливості підземних вод (GVM), метою яких є кількісна оцінка вразливості водоносного горизонту до забруднення, спричиненого людиною. Один із найбільш прийнятих GVM, ЕРІК був спеціально розроблений для карстових водоносних горизонтів. Будь-який користувач GVM має бути впевненим у достовірності вхідних параметрів, які використовуються, оскільки деякі з них дуже важко визначити кількісно.



Порівняння просторової організації некарстових і карстових водозборів. Розшифровка: 1 – підкаптаж; 2 – вихід потоку; 3 – вихід водозбірника; 4 – печера без даху; 5 – реліктова печера; 6 – активний меандр; 7 – гіпогенна печера; 8 – палеокарст; 9 – печерний хід; 10 – карстове джерело. Діаграма від Марії-Лаури Тарле.

## Тези

- (8) Єдиний спосіб регулювання, застосований до складної карстової гідрологічної системи (або складної інтегрованої системи печер), навряд чи зможе належним чином захистити поточні геоморфологічні та екологічні процеси в різних частинах системи. Таким чином, планування регулятивних процесів має враховувати фактори масштабу карстової системи.
- (9) Флора та фауна більшості печер значною мірою залежить від джерел їжі, що надходить із поверхні. Надходження їжі та енергії із зовнішніх джерел має вирішальне значення для виживання життєздатних

популяції організмів, а частота та кількість надходження енергії в печерну екосистему мають важливе значення для підтримки популяції організмів.

- (10) Індивідуальна карстова гідрологічна система (або печерна система) може містити кілька компонентів або типів проходів, меандрів (від активних до неактивних), камінів, а також слабо пов'язаних реліктових коридорів. Для кожного з них потрібен відповідний варіант захисту.
- (11) У карстовій зоні деякі ділянки можуть бути надвразливими до забруднювачів ґрунтових вод, тоді як інші ділянки можуть бути менш чутливими. Тому для захисту ресурсів карстових підземних вод необхідне комплексне планування землекористування.

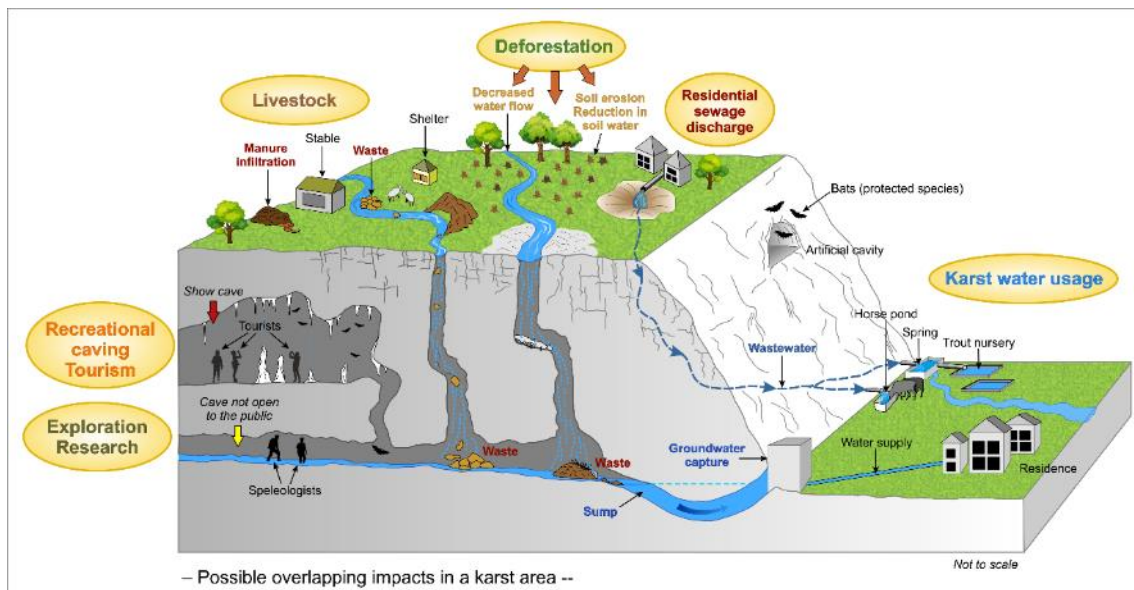


*Дуже активна ділянка печерного проходу, яка зазнає регулярних повеней у Шкоцянське Яме, Словенія. Річка Река, яка протікає через печеру, може підніматися більш ніж на 50 м, досягаючи рівня туристичної стежки, яку видно у*

*верхньому лівому куті. Шкоцяньське Яме — це Рамсарське місце, яке знаходиться в межах Всесвітньої спадщини Шкоцяньських печер і Карстового біосферного заповідника ЮНЕСКО. Фото Чаба Еґрі.*



# Діяльність людини в карсті: вплив, пом'якшення антропогенного впливу



Деякі впливи діяльності людини на карстові території. Діаграма Марії-Лаури Тарле та Богдана Бедеску.

## Пригодницько-рекреаційна спелеологія

### Вступ

Люди відвідували печери з часів виникнення нашого виду, про що свідчать артефакти та мистецтво. Входи використовувалися найчастіше, оскільки вони забезпечували гарний притулок, але також були відвідування темної зони за входом, швидше за все, з ритуальною метою або в пошуках води, як це робили майя в Центральній Америці. Хоча люди продовжували жити у вхідних частинах печер аж до наших днів, ця рання фаза відбулася тоді, коли печери стали об'єктами міфів і їх зазвичай боялися як місця поселення уявних монстрів і злих духів або як воріт у пекло. У Європі цей період, коли домінували невігластво та забобони, тривав до 16 століття, що стало часом подорожей, досліджень і початку природничих наук, принаймні для тих, хто мав достатньо багатства та ресурсів для цих занять.

Історичні відвідування печер з дослідницькою метою були в основному задокументовані в Європі, але також мали місце в Китаї, де Сюй Сяке (1587–1641 рр.) був першим у цьому регіоні дослідником карсту та спелеологом. Поступово люди почали сприймати підземний світ як місце, що слід досліджувати та насолоджуватися ним, а не місце, якого слід боятися. Печери спочатку досліджувалися археологами, біологами, геологами та географами, які переважно працювали поза печерами. До 19 століття деякі люди почали зосереджуватися на печерах і називати себе спелеологами. Приблизно в той же час спостерігалось зростання «дослідницької діяльності», з відвідуванням «чужих країн», підйомами в гори і спусками в печери. У 21 столітті залишилося небагато легкодоступних місць на землі, які не відвідували люди, і небагато гір, на які ще не ступала нога людини, але щороку спелеологи досліджують і обстежують багато десятків кілометрів печер, у які раніше ніхто не заходив. За першими дослідниками прийшли інші, для яких відвідування печер було суто для відпочинку та задоволення. Так було у випадку з печерами та більшою частиною земної поверхні. Існує приказка, яка походить з 15 століття: «Як тільки одна людина знаходить спосіб розважитися, інша знаходить спосіб заробити на цьому гроші», - і виросла галузь, у якій гіді пропонують свої послуги тим, хто бажає взяти участь у пригодах на природі (в тому числі під землею). Вважається, що найстарішою відомою печерою у світі є Печера очеретяної флейти в Китаї, яка містить написи з

792 року, часів династії Тан. Перша зареєстрована екскурсія печерою в Європі була в печері Постойна, Словенія, у 1213 році. Печера Віленіца, також у Словенії, збирає плату за вхід з відвідувачів з 1633 року.

Беручи до уваги цю історію, у 21 столітті ми можемо визначити кілька широких груп людей, які відвідують печери:

- широка публіка бере екскурсії в показові печери або відвідує підземний простір з релігійними цілями.
- спелеологи, які займаються розвідкою та документуванням печер.
- спелеологи-відпочивальники (вільний доступ).
- пригодницькі спелеологічні поїздки (під керівництвом інструктора).
- вчені, які проводять підземні дослідження або використовують у своїх дослідженнях матеріал із печер.
- «випадкові» користувачі печер, для яких печера не є основною метою їхнього відвідування, наприклад, спортсмени, що беруть участь у заїгах, які включають частину проходу в печері.

Показові печери та печери, які використовуються для релігійних цілей, як правило, мають штучне освітлення та доріжки, що робить їх придатними для відвідування будь-яким представником громадськості. Деякі з ходів мають доступ для людей з обмеженими можливостями. Навпаки, ті, хто має на меті пригоди, рекреаційні та дослідницькі спелеологічні візити, зазвичай носять індивідуальне джерело світла на шоломі та мають різну кількість захисного одягу та спорядження. Рекреаційна спелеологія передбачає відвідування місць, які вже були досліджені та обстежені, тоді як дослідники печер прагнуть отримати доступ до раніше невідомих проходів, а також дослідити та задокументувати свої відкриття. Цього можна досягти різними способами, насамперед за допомогою організації експедиції до нової території, усунення завалів у кінці відомих проходів, внутрішньому скелелазінню чи спелеодайвінгу. Ці категорії користувачів печер можуть бути корисними для вивчення впливу та потреб управління. Слід визнати, що окрема особа може брати участь у більш ніж одній діяльності. Наприклад, спелеолог може витратити частину свого часу на розвідку, але також насолоджуватися відвідуваннями місць рекреаційної спелеології, а також брати участь (або бути залученим до них) у пригодницьких спелеологічних експедиціях.

З точки зору адміністрування, будь-яка карстова територія, ймовірно, матиме кілька типів використання печер. Спочатку будуть показові печери та печери релігійного значення. По-друге, будуть місця для спелеологічних пригод, багато з яких отримують певний ступінь модифікації для підвищення безпеки відвідувачів. Нарешті, більшість місць призначені для рекреаційних спелеологічних розвідок. Показові печери релігійного значення розглядаються в інших місцях, тому в цьому розділі зосереджена увага на пригодницько-рекреаційній спелеології та розвідці. Для багатьох незабудованих печер або «диких печер» спелеологічна діяльність є найбільш безпосереднім чинником ризику, який слід враховувати при вирішенні питання про їх збереження, особливо там, де статус охоронюваної території передбачає сприятливе управління водозбірним басейном.

### *Відкриття печер і документація*

На відміну від інших форм рельєфу, розмір задокументованих печерних проходів щороку збільшується на багато кілометрів завдяки зусиллям спелеологів. Ці зусилля можна розділити на дві широкі групи: 1) дослідження через відкритий вхід або відкритий прохід у відомій печері та 2) дослідження, яке вимагає модифікації входів у печеру та проходів. У більшості країн з довгою історією спелеологічної діяльності є дуже мало відкритих печерних входів, які не були досліджені та не задокументовані, якщо такі взагалі є. В інших місцях, особливо в тропіках і на високих широтах, в ході спелеологічних експедицій все ще можна задокументувати практично невідомі печерні системи. У тропічних районах у печери, ймовірно, заходили місцеві жителі, якщо тільки доступ не є особливо складним, наприклад, у глибоких шахтах або входах на дні западин. Дослідники цих печер несуть відповідальність як за документування своїх відкриттів – включно за інформацію щодо характеристики печери – так і за використання заходів для забезпечення збереження печери, якщо вона була нещодавно виявлена (див. Кодекс етики UIS). Зокрема, важливо, щоб місцеві жителі були повною мірою залучені з метою дізнатися від них про розташування печер, а також про будь-які священні чи інші цінності

всередині, щоб надати інформацію про цінності печер для дослідників і ширшої спільноти та повідомити їм, як можна захистити ці цінності загалом.

У відомих печерах все ще можуть бути проходи, куди не потрапляли перші дослідники. Найпоширенішою причиною є те, що проходу було важко дістатися, як правило, через те, що він знаходиться високо над відомим проходом, або він заповнений осадами чи водою. До проходів високого рівня мають доступ спортивні спелеологи, яким зазвичай доводиться розміщувати засуви або інші фіксовані засоби для організації безпечного підйому. Це неминуче призводить до незначних рубців на стінках проходу. Дослідженням сифонів займаються спелеодайвери, які можуть отримати доступ до заповнених повітрям проходів. Там, де ці проходи великі, може існувати тиск з боку тих, хто не займається дайвінгом, щодо розробки альтернативних входів, які не передбачають дайвінгу. Це може бути проблематичним, якщо нові проходи мають високу естетичну чи наукову цінність.

Багато «нових» печерних ходів знайдено шляхом модифікації проходу, широко відомого як «риття». Методи, які використовуються, можуть містити видалення осаду, проектування для стабілізації маршрутів через зони обвалення, відведення потоків, дренаж статичних сифонів (заповнених водою проходів) і використання вибухових речовин для розширення вузьких проходів. Такі роботи мають обмежуватися мінімальними змінами, необхідними для отримання доступу, і лише після повного розгляду потенційних наслідків як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі, а також якщо важливість відкриття переважатиме наслідки, викликані модифікації.



*Дослідження глибокої шахти в Абіссо Мішель Гортані, плато Канін, Італія. Фото Чабі Егрі.*

У заповідних територіях важливо, щоб адміністрування вимагало згоди на всі види копання, і в деяких країнах розроблено спеціальні рекомендації. Документ, розроблений Дербширською спелеологічною асоціацією у партнерстві з Natural England – радником уряду Великої Британії з питань охорони природи – конкретно стосується розкопок у місцях особливого наукового інтересу (див. Інтернет-ресурси). При розгляданні заявки слід визнати, що успішні розкопки підвищують науковий інтерес, надаючи доступ до нових проходів і цікавих особливостей. Однак ті, хто подає заявки на розкопки, повинні продемонструвати прагнення мінімізувати вплив, наприклад, шляхом ретельного прокопування траншей через заповнений осадами канал, а не повного видалення осаду. Якщо розкопки пройдуть успішно, слід вимагати повного документування та опису відкриттів, в тому числі топозйомку та фотографії. Цю інформацію слід надіслати менеджеру заповідної території, який потім може вирішити, чи потрібне подальше наукове дослідження. Під час входу в нову печеру або частину печери необхідно розглянути, як найкраще їх зберегти. Якщо знахідка містить вразливі зони, дослідники повинні розглянути найкращий маршрут через ці території та переконатися, що він чітко позначений для тих, хто повторно заходить в печеру. Повинна існувати вимога щодо демонтажу всього зайвого обладнання після завершення копання, особливо якщо копання невіддалено. За винятком віддалених районів, нещодавно

Відкриті печери та ходи можуть викликати великий інтерес у спелеологічної спільноти, і вікно можливостей для захисту місця до того, як воно зазнає впливу, може бути досить коротким.



*Дослідження печери іноді вимагає видалення осаду, щоб отримати доступ до проходу за ним. На обох зображеннях видно, як шахти прокопуються через осад, а для запобігання обвалу використовуються риштування та дошки. На лівому зображенні шахта була розкопана на глибину 4 м до відкритого розлому, що веде до 50 м проходу з тонкими спелеотемами. На правому зображенні труба зліва від малюнка була встановлена для покращення вентиляції. Осади з печери не видаляли взагалі, натомість їх поміщали в мішки та складали у доступному місці. Приблизно через 5 м копання увірвалося у відкритий прохід високої наукової цінності. Обидві розкопки проводилися в місцях особливого наукового інтересу й відбувалися з дозволу державних органів. Розкопки праворуч розташовані в кінці показової печери і були здійснені за підтримки власника. Фотографії Роба Ейвіса.*

Більшість тих, хто займається дослідженням печер, публікують подробиці своїх відкриттів у журналах, інформаційних брошурах або, все частіше, в Інтернеті. Ці звіти зазвичай містять детальні карти та описи, які надають важливі джерела інформації про ресурси печер. У багатьох карстових районах практично все, що відомо про печери, є результатом зусиль спелеологічної групи. У той час як деякі території під охороною залежать від спелеологічної спільноти для отримання інформації про печери та в деяких випадках є партнерами з ними в аспектах управління, менш реактивний стиль управління можливий, якщо державні установи розвивають власну спелеологічну експертизу. Це можна зробити, якщо найняти спеціалізований науковий персонал для консультування з питань, пов'язаних із печерами, і шляхом розвитку спелеологічного потенціалу на операційному рівні шляхом навчання персоналу.



*Вхід до печери Ксе Банг Фай, національний парк Хін Нам Но, Лаос. Печера відкрита для пригодницьких турів з 2012 року.  
Фото: Джон Спайс.*

### *Рекреаційна спелеологія*

Рекреаційна спелеологія (іноді її називають спортивною спелеологією) — це, по суті, «заняття спелеологією винятково заради задоволення від спелеології», що передбачає відвідування відомих печер. Таким чином, це схоже на інші види дозвілля на природі, як трекінг або скелелазіння. У багатьох американських і європейських країнах рекреаційна спелеологія (на відміну від наукової) зароджується на початку 20-го століття і реалізується за підтримкою спелеоклубів або груп від кількох односторонців до великих організованих спільнот. Зі збільшенням доступності особистого спорядження, і особливо після прийняття статичної техніки мотузки, стало можливим для невеликої кількості людей відвідувати глибокі та складні печери без підтримки спелеоклубу. Тим не менш, у 21 столітті більшість спелеологів у всьому світі залишаються членами принаймні одного спелеологічного клубу. Доступ до печер є ключовою вимогою для рекреаційної спелеології, і в багатьох країнах спелеологічні клуби об'єдналися, щоб створити регіональні або національні організації з основною метою – підтримки і покращення доступу до печер, причому більшість спелеологів бачить збереження печер не менш важливим. Національні органи також зазвичай надають членам спелеоклубів і землевласникам карстових територій страхування. У 1965 році було створено Міжнародну спелеологічну асоціацію (UIS) як міжнародний орган зі спелеології, і станом на січень 2022 року до нього входило 57 країн. В рамках UIS існує Комісія з охорони карсту та печер, члени якої зробили свій внесок у ці Рекомендації.

Хоча більшість спелеологів-рекреантів зараз цінують красу, крихкість і наукову важливість підземного середовища, це не завжди було так, і багатьом печерам було завдано серйозної шкоди як навмисно, так і через необізнаність. Особливою проблемою в 21 столітті стало збільшення «спринт-кейвінгу», мета якого полягає в тому, щоб досягти певної точки в печері та повернутися на поверхню в найкоротший можливий час, не звертаючи уваги на потенційний вплив на печеру. Навмисний вандалізм зазвичай передбачає графіті, видалення спелеотемів для сувенірів, руйнування уламкових відкладень під час грязьових боїв або створення скульптур і гірок. Там, де печера охороняється або розташована в зоні під охороною, інколи може бути вжито судовий позов, якщо виявлено винних (у США були успішні судові переслідування), але це не може компенсувати збитки. У часовому масштабі людини спелеотеми та уламкові відкладення є незамінними. Ненавмисна шкода є результатом необізнаності та неповаги до середовища печери.

Зокрема, багато спелеологів, які миттєво визнають цінність спелеотемів і необхідність їх захисту, зазвичай не оцінюють наукової важливості уламкових відкладень, проте розглядають їх як “бруд”.



*Витончені солом'яні спелеотеми (макарони) в Кастл Гроу, печері Холлоу Хілл, Вайтомо, Нова Зеландія. Вони були захищені політикою ретельного доступу та тезами мінімального впливу на печеру. Фото Джона Ганна.*

З середини 1990-х років занепокоєння щодо впливу спелеологів на печери призвело до розробки в багатьох країнах кодексів етики, кодексів збереження печер і кодексів спелеології мінімального впливу. Мета цих кодексів полягає в тому, щоб спонукати спелеологів думати про кожну свою подорож з точки зору збереження, а також безпеки, наголошуючи увагу на важливій природоохоронній ролі багатьох національних і місцевих спелеологічних організацій. У країні з встановленим кодексом спелеологи повинні ознайомитися з цим кодексом і дотримуватися його. На заповідних територіях дотримання кодексу має бути обов'язковим. У тих країнах, де немає встановленого кодексу, керівники територій під охороною повинні встановити кодекс для печер на своїй території, спираючись на відповідні матеріали з опублікованих кодексів. Приклади таких наведені нижче.

## Приклади кодексів спелеології

**Міжнародна спелеологічна асоціація (UIS)** має «Кодекс етики для дослідження печер і науки в іноземних країнах» [<https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/03/Code-of-Ethics-of-the-UIS-English-Language.pdf>]. Назва дещо вводить в оману, оскільки це важливий документ, який охоплює «Спелеологічні експедиції до зарубіжних країн», а також «Пригодницький, гео- та екологічний туризм» і «Загальні спелеологічні експедиції у вашій країні». Існують також вказівки щодо «Розробки показових печер» і «Наукового відбору проб», обидва з яких є окремими темами в документі UIS..

**Австралійська спелеологічна федерація** випустила один із найперших «Кодексів спелеології з мінімальним впливом» у 1995 році, а остання версія (2010) доступна за посиланням <https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards>. Цей кодекс поділено на два розділи: один стосується загальних відвідувань печер, а інший стосується дослідження нововиявленої печери або частини печери.

**Британська спелеологічна асоціація (Велика Британія)** розробила «Рекомендації щодо мінімального впливу спелеології» у партнерстві з Natural England, радником уряду Великої Британії з питань природного середовища в Англії [<https://british-caving.org.uk/our-work/cave-conservation/>]. Рекомендації спрямовані на мінімізацію впливу, але також містять рекомендації щодо консервації та реставраційних робіт як у печерах, так і на поверхні.

**Департамент охорони природи Нової Зеландії** має «Кодекс догляду за печерами» <https://www.doc.govt.nz/parks-and-recreation/things-to-do/caving/caving-guidelines/>, який пропагує спелеологію таким чином, щоб мінімізувати вплив на навколишнє середовище та інших людей.

**Національне спелеологічне товариство (США)** має набір «Рекомендацій щодо мінімального впливу на спелеологію», які регулярно оновлюються, востаннє в лютому 2021 року, щоб врахувати пандемію Covid [<https://caves.org/conservation/cavingcode.shtml>]. Автори наголошують на важливості того, що рекомендації слід оновлювати, оскільки більше людей дізнаються про печерне середовище, а спелеологи оцінюють і переосмислюють свою поведінку в печерах.

З початку 20-го століття відомості про печери, включно з розташуванням входів, надавалися лише членам спелеологічних клубів, що забезпечувало певний захист. Це все ще стосується деяких країн, особливо у зв'язку з крихкими печерами або печерами, які ще досліджуються. У США Федеральний закон про охорону печерних ресурсів 1988 року поширюється на печери на федеральних землях, зазначаючи, що розташування значних печер не може бути доступним для громадськості. Проте в інших місцях зростання інтересу до рекреаційної спелеології призвело до публікації гайдів, що містять основну, а в деяких випадках і досить детальну інформацію про місцезнаходження. В Інтернеті значно збільшилася доступність інформації про печери, в тому числі точне розташування входів, що дозволяє будь-кому, хто має GPS, легко знайти їх. У той же час спостерігається масове використання соціальних медіа, а разом з ним і зростання кількості осіб і груп, які не мають підготовки чи досвіду, але вирішують відвідати печери та розмістити відео своїх візитів у Інтернеті. Неминучим наслідком стало збільшення кількості нещасних випадків і пошкоджень печер як навмисних, наприклад графіті та видалення «сувенірів», так і ненавмисних, включаючи непроходження маршрутів навколо уламкових відкладень або ділянок з великою кількістю спелеотемів, а також спроби записати маршрут виходу з печери, використовуючи скелі або маркування стін печери. Цей тип діяльності створює особливий виклик для менеджерів заповідних територій, оскільки особи не є частиною спелеологічної спільноти і тому не знають правил збереження печер. Знаки біля входу в печеру або всередині печери можуть допомогти, але єдиний засіб забезпечити повний захист — це захистити або вхід до печери, або доступ до чутливої зони всередині печери (див. Класифікацію печер як інструмент управління). Конструкція печерних воріт вимагає ретельного розгляду, щоб переконатися, що вони безпечні та не погіршують естетичний вигляд місця, не перешкоджають руху фауни, повітря чи води чи не перешкоджають витягненню пораненої людини.

Кейв-дайвінг найчастіше є дослідницьким засобом, що обговорюється в дослідженні печер і документації, але в деяких країнах він здійснюється як окремий вид відпочинку. На відміну від дослідницьких печерних занурень, які здебільшого здійснюють особи з досвідом спелеології, рекреаційний спелеодайвінг найчастіше здійснюється дайверами у відкритій

воді, які можуть не повністю розуміти ризики, що печера становить для них, або ризики, які вони становлять для себе у середовищі підводної печери.

Рекреаційні спелеологи, які займаються спортом більше кількох років, часто спеціалізуються на таких аспектах спелеології, як підземна фотографія, картографія печер, порятунк у печерах, наука про печери або дослідження печер. Це має ширші переваги, оскільки печерні фотографії можуть сприяти підвищенню обізнаності громади про цінності печер, підтримуючи зусилля щодо збереження; карти печер є важливими інструментами для менеджерів, науковців і рятувальників; готовність до рятування має переваги щодо безпеки та збереження; а співпраця між спелеологами та вченими розширює наші знання про ці системи та зменшує ризик впливу дослідників на печери. Відомо також, що спелеологічні групи ініціюють проекти «karstcare» для очищення печерного сміття або відновлення пошкоджених об'єктів. Хоча ставлення спелеологів різне, є багато прикладів дуже конструктивних стосунків між керівництвом і місцевими спелеологічними групами. Побудова цих відносин має очевидні переваги, не в останню чергу полягає в тому, що це заохочує дотримання умов доступу. Деякі природоохоронні території підходять до цього структуровано, залучаючи зацікавлені сторони до комітетів з управління печерами або робочих груп. Це створює можливості для діалогу навколо дискусійних питань, включаючи ключове для багатьох спелеологів, обмеження доступу до печер. Будь-яке введення нових обмежень доступу, швидше за все, буде сприйнято негативно та може бути не виконано, якщо спелеологічна спільнота не зрозуміє обґрунтування.



*Озеро Чанделар, печера Лечугілла, Національний парк Карлсбадські печери, об'єкт Всесвітньої спадщини, Нью-Мексико, США. Оскільки печера має високу наукову цінність і є вразливою до пошкоджень дослідниками, доступ дозволений лише для схвалених наукових дослідників, дослідницьких груп і поїздок, пов'язаних із управлінням Служби національних парків. Опубліковано план управління (див. Інтернет-ресурси). Фото Райнера Штрауба*

### *Пригодницька спелеологія*

Пригодницький спелеологічний похід (також відомий як екскурсійна спелеологія та «wild-кейвінг») охоплює широкий спектр від дуже скромних до високоорганізованих комерційних підземних організацій. Багато з тих, хто пропонує пригодницький досвід спелеології, є позаштатними (самозайнятими) інструкторами, які виконують подібну роль до ролі гірських і туристичних гідів та інших пов'язаних професій на поверхні. Представники громадськості, які хотіли б отримати досвід спелеології, і, рідше, спелеологи-рекреанти, які хотіли б отримати гідів в складній системі печер, наймають інструкторів, які надають все необхідне обладнання для вибраної печери. Спелеологічні інструктори також працюють у навчальних центрах на відкритому повітрі, які в основному обслуговують шкільні групи, хоча існують також центри та групи, які надають корпоративний досвід «тимбілдингу» та «лідерства» для дорослих. Крім того, деякі печери пропонують екскурсійний спелеотур як доповнення до екскурсій, доступних для широкої публіки. Хоча більшість печерних



інструкторів отримують плату за свої послуги, є деякі, хто надає пригодницький досвід спелеології на добровільних засадах, особливо для таких організацій, як Скаутський рух.

У розвинутих країнах високий рівень підготовки інструкторів до безпеки часто є або законодавчою, або страховою вимогою. В Австралії та Новій Зеландії інструктори повинні пройти спеціальну підготовку, як правило, через однорічний денний курс, який охоплює всі аспекти екскурсів, включаючи надання першої допомоги, рятування та переклад. Незважаючи на те, що безпека екскурсів має першочергове значення, важливо приділяти однакову увагу безпеці печери, наголошуючи на важливості збереження геоспащини та екосистеми. На жаль, деякі печери все ще несуть сліди минулої невдалої практики, коли інструктори зазвичай заохочували свою групу брати участь у багняних боях, щоб «поліпшити» підземний досвід. Це призвело до пошкодження важливих уламкових відкладень брудом, що прилипло до спелеотемів і стінок печер.

Там, де є національний спелеологічний орган, ця організація, ймовірно, найкраще підійде для сертифікації інструкторів і гарантує, що увага приділяється однаково і безпеці, і збереженню. Британська спелеологічна асоціація (BCA) пропонує два національно визнані сертифікати для спелеологічних інструкторів і гідів, які ведуть людей під землею: Local Cave and Mine Leader Assessment Scheme (LCMLA) і Cave Instructor Certificate (CIC). Схема LCMLA «надає сертифікат, який визнає компетентність тих, хто бажає взяти відповідальність за інших під землею, на користь роботодавців або інших осіб, які мають владу. Основними міркуваннями є безпека групи та збереження крихкого середовища». У Сполученому Королівстві також існують місцеві групи інструкторів, такі як Peak Instructed Caving Affiliation (PICA), яка охоплює спелеологічний район Англійського Пік-Дистрикт і є філією Дербширської спелеологічної асоціації, однієї з регіональних рад BCA. Частиною обов'язків PICA є «Поширення інформації про безпеку та збереження печер і шахт, які можна використовувати для поїздок під керівництвом LCMLA та CIC у нашому регіоні».



*Печера Брейойнс у напівзасушливій Бразилії часто використовується для пригодницького туризму. Вона має великі проходи та масивні спелеотемі. Фото Філіпа Крочета.*

Посилання на місця, які можна використовувати для екскурсій під керівництвом інструктора, є дуже важливими, оскільки вони неявно визнають існування місць, які можуть бути непридатними для пригодницького спелеологічного заняття з кількох причин: існують неприйнятні ризики безпеки для тих, хто не є досвідченими спелеологами; існує ризик пошкодження підземного середовища. Додатковим підходом у більших печерах є проведення оцінки вразливості та використання її для поділу печер на зони. Ті проходи, які вважаються міцними, з невеликою кількістю цікавих особливостей, що можуть бути пошкоджені, можуть бути зонованими для типу пригодницької спелеології. В такій сфері спелеології беруть участь люди з незначним досвідом або взагалі без попереднього підземного досвіду. Проходи середньої цінності, ймовірно, підходять лише для пригодницького спелеологічного туру, якщо учасники мають певний

досвід або якщо співвідношення інструкторів і учасників мінімізує ризик пошкодження підземного простору. Будуть деякі печери та деякі печерні зони, де ризик пошкодження геоспадщини чи екосистем настільки високий, що вони непридатні для пригодницької спелеології. При проведенні оцінки вразливості важливо враховувати пропускну здатність печери, оскільки відвідування людиною неминуче має кумулятивний вплив як на фізичні, так і на біологічні цінності печери або частини печери.

У той час як невеликі заходи становлять більшість пригодницької спелеології у всьому світі, зростає кількість комерційних підприємств, які пропонують те, що можна назвати «високотрасовою» пригодницькою спелеологією. Прикладом можуть слугувати ті, що пропонують «рафтинг по чорній воді» та подібний досвід у районі Вайтомо в Новій Зеландії. Однією з найдовших і найдорожчих печерних екскурсій є чотириденний захід, який пропонує Oxalis Adventure Company у Хан Шон Доонг, В'єтнам, який має один із найбільших у світі печерних проходів за об'ємом і який лежить у Фонг Ня-Ке (Національний парк Банг і об'єкт Всесвітньої спадщини). Ці комерційні підприємства мають більше спільного з показовими печерами, ніж з іншими формами пригодницького спелеотуризму, оскільки вони вимагають значних інвестицій в інфраструктуру, кількість відвідувачів є високою, і, як правило, інфраструктура печер була суттєво модифікована з метою підвищення безпеки або доповнення для досвіду відвідувачів. Приклади включають встановлення фіксованих засобів для скелелазіння та зіплайнів у печері.



*Пригодницький спелеотуризм тепер включає відвідування крижаних печер із особливим набором випробувань. Eiskogelhöhle, Австрія. Фото Чаба Еґрі.*

### *Класифікація печер як інструмент управління*

Для того, щоб адмініструвати печери, необхідно 1) мати кадастр печер 2) мати систему класифікації для визначення придатності різних видів використання. Для печер, де є обмежений діапазон функцій або обмежена горизонтальна чи вертикальна протяжність, уся печера є логічною одиницею керування для багатьох цілей. Однак для більш довгих печер, і особливо тих, які мають відзначену внутрішню мінливість своїх цінностей і чутливість до впливу відвідувачів, підхід до зонування, ймовірно, буде більш прийнятним. Наприклад, активний хід річки, що піддається регулярним затопленням, швидше за все, буде більш стійким до впливу відвідувачів, ніж сухий хід на верхньому рівні. При оцінюванні всього рівня печери, ділянку слід роздивлятися відносно безпосередньої території, яка її оточує, до решти карстової території, в якій

вона розташована, а також до її національного та глобального контексту. Для печер і охоронюваних територій, де на даний момент немає жодної системи, рекомендується наступний підхід у межах печери:

1. Проведіть інвентаризацію печери (печерної системи) і відзначте об'єкти, що становлять особливий інтерес, під час дослідження.
2. Оцініть вразливість кожного типу об'єкта, тобто надійність морфології печерних проходів, тоді як спелеотеми та уламкові відкладення, швидше за все, легко пошкоджуються.
3. Визначте потенційні можливості використання печери, наприклад, для рекреаційного спелеотуризму, екскурсійного спелеотуризму, розвідки та дослідження.
4. Виходячи з пунктів 1-3, визначте зони в печері, які підходять для певного використання. Проста схема, яку можна прийняти відповідно до місцевих факторів, полягає в класифікації проходів або печерних територій як:
  - А – Низька вразливість. Ділянки печери, які вважаються міцними та здатними протистояти будь-якому впливу, крім навмисного руйнування. Вони підходять для будь-якого використання.
  - В – Помірна вразливість. Місця, де є цікаві елементи, які можна легко пошкодити, якщо не дотримуватися елементарних правил обережності. Ці зони підходять для любителів спелеології, які знають про кодекс спелеології і дотримуються мінімального впливу. Такі місця не підходять для початкових спелеотурів, але можуть вмістити невеликі групи спелеологів-пригодників з відповідним кваліфікованим лідером. Розвідка з метою пошуку нових проходів і наукові дослідження можуть бути дозволені за умови проектної пропозиції та оцінки впливу.
  - С – Висока вразливість. Ділянки з високою цінністю, які легко пошкоджуються. Використання цих територій має бути зведено до мінімуму та повинні бути встановлені засоби контролю для мінімізації впливу. Від спелеологів-рекреантів може знадобитися надати вагомі причини для запиту на доступ (наприклад, фотографування) і може знадобитися супровід керівника, який має конкретні знання про печеру або її цікаві особливості. Дослідження з метою пошуку нових проходів і для наукових досліджень має бути дозволено лише після певної форми аналізу «витрати-вигоди», який оцінює ризик шкоди порівняно з ймовірністю успішного результату та цінністю відкриттів.
  - Х – надзвичайна вразливість. Ділянка печери з дуже високою цінністю, де існує високий ризик пошкодження. Ці зони мають бути забороненими для відвідування, окрім виняткових обставин, тобто дослідження з метою зрозуміти певну функцію у вразливій області.

### *Рятувальні роботи в печерах*

Як і у випадку з усіма видами відпочинку на свіжому повітрі, існує ризик того, що в печері станеться інцидент, який потребуватиме роботи рятувальників. У печерах існують чотири основні об'єктивні небезпеки: переохолодження, обвал породи, повені та небезпечні гази. Всі інші небезпеки суб'єктивні і пов'язані з відвідувачами. Приклади включають невідкладні медичні випадки, такі як серцевий напад, який може трапитися в іншому місці, але який трапляється, коли людина знаходиться під землею, особа або група осіб, які входять у печеру та не можуть знайти дорогу назад до входу або потрапляють у пастку паводкової води, а також нещасні випадки внаслідок чого особа стає недієздатною. У більшості країн із довгою історією спелеології існують національні або місцеві організації рятувальників у печерах, які або безпосередньо займаються підземним порятунком, або допомагають державним службам екстреної допомоги у проведенні порятунку. Порятунок у печері, як правило, складний, особливо якщо він передбачає транспортування пораненої людини, та може вплинути на печеру. Першочерговим пріоритетом у будь-якій рятувальній операції є безпека та благополуччя рятувальників і тих, кого рятують, але, наскільки це практично можливо, порятунок повинен мінімально впливати на середовище печери. Якщо рятувальна команда в основному або повністю складається з досвідчених спелеологів, вони намагатимуться мінімізувати свій вплив на печеру. Існує принаймні один «Кодекс порятунку з печер з

мінімальним впливом», який був створений у 2006 році Австралійською комісією з порятунку в печерах разом із значним переглядом у 2019 році (див. Інтернет-ресурси).

### *Вплив спелеотурів на біорізноманіття*

Печери є середовищем існування для різноманітних тварин. Кажани є найвідомішими та найпоширенішими у всьому світі. Іншими відомими хребетними є печерні риби та саламандри, тоді як спеціалізовані безхребетні, адаптовані до печер, є найпоширенішими. Багато з цих тварин мають дуже обмежений ареал проживання. Спелеологічна діяльність може негативно вплинути на печерних тварин безпосередньо, як у випадку з дрібними безхребетними, пораненими або переміщеними людьми, які пересуваються через печеру, або опосередковано, як у випадку впровадження патогенів, поживних речовин або змін у середовищі існування. Наслідки цих впливів для біорізноманіття навряд чи можна повністю оцінити без відповідних досліджень. Потенційні стратегії збереження включають плани збереження видів; інформаційні продукти для підвищення обізнаності про мінімальний вплив спелеологічних практик для захисту фауни; відновлення середовища проживання; та обмеження доступу до критичних середовищ існування через зонування. Деякі печери є середовищами із середнім або низьким енергоспоживанням, з фактично невеликим надходженням енергії в часовому масштабі людини. Вхід одного спелеолога в ці печери може змінити енергетичний баланс, впливаючи на тепло, світло та поживні речовини в них. Одним із факторів, який став очевидним лише з 1990-х років, є потенційна інтродукція мікрофлори та мікрофауни спелеологами. Вплив відвідувачів печер, як правило, кумулятивний і, цілком можливо, синергетичний.

На відміну від ушкоджень поверхневих ділянок, сліди або наслідки людської діяльності в підземних середовищах із середнім або низьким рівнем енергії можуть зберігатися протягом сотень або навіть тисяч років. Наприклад, те, що вважається слідом кроманьйонця віком до 48 000 років, було виявлено на поверхні осадових відкладень у печері Шове, Франція. Особливе занепокоєння викликає синдром білого носа (WNS), дуже інфекційне грибкове захворювання, яке вбило мільйони печерних кажанів у Північній Америці та інших місцях з моменту його першої появи в 2006 році. Його викликає гриб *Pseudogymnoascus destructans*, який був виявлений на кажанах як у Європі, так і в Китаї, що вплинуло на зменшення популяції. Він росте переважно у високій вологості та негативно впливає на кажанів, які живуть у печерах, зимують і коли перебувають гібернації. Явні симптоми містять нечіткі білі плями на носі кажана та білі плями на тілі та крилах. Це часто призводить до смерті. Гриб вперше був знайдений у печері в Північній Америці, що свідчить про те, що він міг потрапити на взуття туриста з іншої країни. Людина може поширювати грибок з однієї печери, яка є місцем зимовки кажанів, якщо випадково занесе грибок на взуття, одяг або спелеологічне спорядження. Туристи, які відвідують показові печери, також можуть поширювати хворобу. Станції знезараження взуття тепер створені в таких печерах, як Мамонтова печера в Кентуккі, і широко застосовуються спелеологами по всій території США та деяких інших країн. Команда дезактивації WNS запропонувала процедури дезактивації спелеологічного спорядження та обладнання (див. Інтернет-ресурси). Хоча ці процедури були відповіддю на конкретну проблему, вони рекомендовані всім спелеологам, особливо тим, хто відвідує заповідні території. Однак первинна передача WNS відбувається від кажана до кажана. Багато кажанів є соціальними ссавцями, що мігрують із літніх районів годівлі до печер-розплідників, а потім до місць зимової сплячки. Гриб зустрічається як на кажанах, так і на відкладеннях у печерному середовищі.

Крім того, що спелеологи можуть ненавмисно вплинути на мікробіологію печер, у деяких частинах світу вхід у печери становить потенційний ризик для здоров'я людини. Найбільш поширеним і відомим ризиком є гістоплазмоз, інфекція, спричинена вдиханням спор грибка, який часто зустрічається в екскрементах птахів і кажанів. Кажани також можуть бути

переносниками інших хвороб, і ними повинні займатися лише досвідчені особи, які проводять схвалені дослідження. Ризики для здоров'я повинні бути частиною будь-якої оцінки ризиків для печери.

### *Порядок дезінфікування спелеологічного спорядження та обладнання*

Для предметів, що занурюються у воду:

- Ретельно очистіть спелеологічне спорядження, видаливши весь бруд.
- Занурте в гарячу воду, підтримуючи температуру вище 55 °C мінімум на 20 хвилин.

Для предметів, які не занурюються у воду:

- Продезінфікуйте за допомогою спрею з 6% перекисом водню або дезінфікуючих серветок з ізопропанолом.
- Чоботи слід почистити, щоб видалити весь бруд, а потім простерилізувати, як описано вище.

Будь-яке спорядження, яке було взято до потенційно заражених печер і яке не можна обробити за допомогою відповідних процедур знезараження, НЕ слід вивозити в інші печери або печери в інших країнах. Деякі захищені зони не допускають обладнання, яке знаходилося в потенційно заражених печерах, навіть якщо вони знезаражені.

### *Випадкові відвідувачі печер*

У 21 столітті активний попит на «пригодницький досвід» призвів до того, що деякі печери використовувалися як частина забігів, і є випадки, коли в печерах використовувалися моторизовані транспортні засоби. Навряд чи забіги, які проводяться у показових печерах і які використовують наявну інфраструктуру, не матимуть суттєвого додаткового впливу, окрім тих, які вже були. Те саме стосується бігу по доріжках, які проходять через реліктові печери, що утворюють природні арки. Однак використання диких печер для проведення такого роду подій або для інших змагань чи спортивних заходів не повинно бути дозволено, оскільки неможливо уникнути шкоди геоспащині та екосистемам. Подібні міркування стосуються використання електромобілів під землею, оскільки, абсолютно недоцільно допускати будь-які види моторизованих транспортних засобів у дикі печери через неминучу шкоду, хоча існує довга історія їх використання в деяких показових печерах.

### *Тези*

- (12) *Інвентаризація печер є бажаною основою для адміністрування. Об'єкти, що становлять особливий інтерес у кожній печері, слід фіксувати на мапі.*
- (13) *Оцінка ризику є бажаною та повинна охоплювати системи печер, окремі печери або внутрішні секції відповідно до місця з найбільшим рівнем ризику. Оцінка повинна охоплювати як ризик для людей-дослідників, так і ризик, який люди-дослідники представляють для печери. Необхідно оцінити вразливість кожного типу об'єкта, щоб полегшити ідентифікацію печер або зон у печерах, придатних для певного використання.*
- (14) *Усунення наслідків завалів і адміністрування найкраще здійснювати через процес стратегічного планування із залученням зацікавлених сторін. Відповідний підхід, імовірно, вимагатиме поєднання ініціатив, серед яких політика доступу завжди матиме найбільшу вагу.*
- (15) *Будь-який інструктор, який пропонує екстремальний спелеологічний захід, повинен бути готовим за потребою надати докази того, що він має відповідну підготовку з питань безпеки та збереження печер.*
- (16) *Очікується, що всі спелеологи будуть знайомі зі спелеологічним кодексом мінімального впливу (MICC) і дотримуються його. Якщо національні або регіональні MICC не застосовуються до території під охороною, тоді слід розробити спеціальний код на основі вже опублікованих кодексів.*

- (17) Розкопки, відкриття об'єктів та дослідження в печерах в межах територій під охороною повинні контролюватися або через спеціальні угоди, або шляхом вимагання і отримання дозволів на спелеологічну діяльність.
- (18) Керівникам природоохоронних територій рекомендовано скласти план, який можна буде використовувати, якщо на території трапиться екстрена спелеологічна ситуація. План має бути складений із залученням регіонального або національного спелеологічного органу та державних органів, відповідальних за нещасні та надзвичайні ситуації, і повинен містити вказівки щодо мінімізації впливу рятувальних робіт на печеру та на поверхню.
- (19) Категорично заборонений будь-який вид моторизованого транспорту в диких печерах, а дикі печери заборонено використовувати для змагань з бігу чи для інших спортивних заходів.

## Показові (екскурсійні) печери

### Вступ

In this document we use the terms show cave and tourist cave interchangeably to describe a cave to which the public can obtain access. У цьому документі ми використовуємо терміни «показова печера» та «туристична печера» як синоніми для опису печери, до якої громадськість може отримати доступ за оплату. Деякі з цих печер належать та/або управляються федеральними, державними чи місцевими органами влади. Деякими печерами, що належать державі, керують концесіонери, тоді як багатьма іншими печерами - приватні особи. У більшості охоронюваних територій буде лише кілька показових печер, більшість з яких використовується для пригод і рекреаційних спелеотурів (див. Рекреаційна та пригодницька спелеологія). Печери, які використовуються для релігійних цілей, наприклад, святині чи церкви, можна вважати особливим типом показових печер. Асоціація печер і релігійних практик (в т.ч. шаманізм) поширена в багатьох релігіях, і деякі печери були перетворені на місця поклоніння. Ці печери особливо часто зустрічаються в католицьких і буддистських країнах і отримують значну кількість відвідувачів, включаючи звичайних туристів і людей, які бажають помолитися або поклонитися (див. Деякі цінності карсту і печер). Ступінь модифікації варіюється в широких межах, від простих укриттів або гротів з релігійними зображеннями до великих каплиць. Деякі печери використовуються як церкви з місцями для відпочинку, вівтарями та святилищами, проводяться регулярні меси та призначення на посаду священика. Печери, які використовуються для релігійних обрядів, як правило, контролюються релігійною владою, і вплив їх використання на середовище печери рідко розглядається. Тому в решті цього розділу обговорюється лише нерелігійне використання печер, хоча принципи однаково застосовні до печер, які використовуються в релігійних цілях.

Міжнародна асоціація печер (ISCA) спільно з МСОП та UIS розробила «Міжнародні рекомендації щодо розробки та управління печерами» (див. Інтернет-ресурси). Метою цих рекомендацій є надання вказівок щодо найкращих практик розвитку та управління печерами, де б вони не були розташовані у світі. Рекомендовані міжнародні керівні принципи не мають на меті створити жорсткі правила чи тлумачити їх як закони. Вони є вказівками для професійного підходу до розвитку печер та управління ними. Багато показових печер функціонують десятиліттями, а деякі – сотні років. У своїх інструкціях ISCA визнає, що для існуючих екскурсійних печер може даватися важко, а в деяких випадках і неможливо, дотримання всіх Рекомендованих міжнародних інструкцій. У цих випадках Рекомендації ISCA надають приклади найкращої практики та стандартів, над якими можна працювати з часом.

Міжнародні рекомендації слід вважати остаточним джерелом найкращих практик розвитку печер і управління ними, і їх слід зберігати в оновленому форматі з урахуванням нової інформації та висновків. Це особливо важливо в охоронюваних територіях, де екскурсійні печери повинні обслуговуватися за найвищими можливими стандартами та надавати зразки тим екскурсійним печерам, які працюють за межами охоронюваних територій. Якщо, наприклад, необхідно замінити

інфраструктуру, це слід робити після оцінки найкращого варіанту для середовища печери, а не простої заміни «подібне на подібне».



*Велика кімната на туристичному шляху через Карлсбадську печеру, Нью-Мексико, США. Це єдина показова печера в національному парку Карловарські печери, що є об'єктом Всесвітньої спадщини. Є багато інших печер, деякі з них відкриті для пригодницької спелеології, а в деякі можуть отримати доступ лише науковці та інші особи, які працюють за системою дозволів. Фото Чаба Еґрі.*

Це факт, що загальні правила ніколи не можуть бути абсолютно застосовними до всіх ситуацій. У багатьох печерах по всьому світу можуть бути незвичайні параметри, де з прийнятних причин деякі частини цих вказівок неможливо застосувати без величезних труднощів. Ці Керівні принципи та Міжнародні рекомендації ISCA надані як цілі, які показують, що печери можуть функціонувати, як це передбачено їхніми обставинами та економічною спроможністю. Крім того, існує багато національних асоціацій управління печерами, такими як ABIS (Асоціація британських та ірландських печер), АСКМА (Асоціація управління печерами та карстом Австралії, Inc.), ANECAT (Французька національна асоціація операторів печер, розроблених для Tourism) і NCA (Національна асоціація печер США), які діляться найкращими практиками щодо розвитку та управління печерами з членами та однолітками. Наведені нами рекомендації доповнюють рекомендації ISCA.

### *Міркування щодо перетворення печери на показову*

Там, де показові печери вже побудовані, вартість за вхід і дохід від інших зручностей, таких як роздрібна торгівля сувенірами, їжею та напоями в кафе та іншими допоміжними атракціями, зазвичай є важливим джерелом доходу, а печери надають кар'єрні можливості для місцевих жителів. Жителі також можуть забезпечувати захист печерного середовища, якщо виникають такі проблеми, як вандалізм. Це створює стимул для відкриття нових печер, особливо у країнах, що розвиваються. Однак перш ніж розпочати будь-яку таку розробку, має бути проведено ретельне вивчення економічного впливу та функціональності запропонованого проєкту, а також оцінка впливу на навколишнє середовище, яка включає розгляд впливу розробки на біологічний та науковий інтерес до печери. Розробку слід продовжувати лише в тому випадку, якщо можна продемонструвати, 1) що наслідками можна успішно керувати та що є достатнє фінансування для будівництва, яке відповідає вимогам охорони навколишнього середовища та громадської безпеки, і 2) що ймовірний потік доходу дозволить управляти показовою печерою екологічно відповідальним і стійким способом. Зокрема, важливо запобігти тому, щоб розробка була розпочата, але не завершена, залишаючи печеру в більш вразливому стані, або щоб печера була відкрита, але не заохочувала достатню кількість туристів для забезпечення доходу, необхідного для тривалої сталої та відповідальної експлуатації. Крім того, може бути прийнятним відкрити печери для відвідування громадськістю,

коли економічний план не є позитивним, але економічний успіх гарантується державою або навіть місцевим клубом волонтерів. Добре керована показова печера зазвичай забезпечує захист печери, а також джерело доходу та освіти для місцевої економіки.

Показові печери є середовищем, за допомогою якого більшість людей відчувають підземне середовище. Таким чином, вони дають чудову можливість пояснити культурну, історичну та наукову важливість і крихітність печерного середовища. Це особливо важливо для заповідних територій, де печери зазвичай є основною причиною визначення.



*Печера Парадайз — це показова печера в національному парку Фонг Ня-Ке Банг, який є об'єктом Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО у В'єтнамі. Фото Стівена Борне.*

## **Безпека**

Безпека відвідувачів і працівників має бути основною метою будь-якої виставкової печери. Це включає в себе наземні та підземні частини, а також усі частини приватної території. Рух транспорту, який в'їжджає на територію та виїжджає з неї, має проходити дорогами з відповідним покриттям і паркувальними майданчиками. Важлива хороша організація. Не завжди є нагода дотримуватися будівельних норм під землею. При плануванні доріжок у печері безпека відвідувачів має бути пріоритетом. Запас над головою особливо важливий під землею – там, де достатня висота неможлива, необхідно попередити, щоб запобігти потенційним травмам. Там, де це необхідно, слід передбачити перила.

Планування безпеки включає забезпечення того, щоб екстрені служби могли отримати доступ до печери найкращим можливим способом. Необхідно налагодити відносини з місцевими службами екстреної допомоги, щоб усі знали про обмеження та труднощі, з якими доведеться зіткнутися під час порятунку в печері, який зазвичай вимагає великих фізичних зусиль і може мати серйозний вплив на середовище печери, якщо наявні тільки плани. Відповідну підготовку з порятунку та надання першої допомоги слід також надати персоналу показової печери.

## **Пропускна здатність відвідувачів**

«Пропускна здатність відвідувачів» у показовій печері є інструментом планування та управління для встановлення максимальної кількості відвідувачів, яку печера може вмістити під час екскурсії або протягом певного періоду часу. Визначення пропускної спроможності печери для відвідувачів знаходить баланс між наданням безпечної, інформативної та приємної екскурсії печерою для відвідувачів і мінімізацією впливу на середовище печери при досягненні економічних



цілей. Усі ці фактори необхідно враховувати, визначаючи, чи має бути стійкою відповідна місткість відвідувачів для показової печери.

Основна увага в наступній інформації буде зосереджена на факторі мінімізації впливу на навколишнє середовище. Відвідування туристичних печер матиме певний вплив, але негативний вплив можна мінімізувати, а задоволеність відвідувачів підвищити завдяки належним процедурам і практикам управління. Перший крок — розгляд фізичних параметрів. Потоки відвідувачів повинні спрямовуватися до печери, крізь неї та на виході ефективним способом, який мінімізує вплив. Фактори, які слід враховувати, включають розмір проходів, відстань від спелеотемів, інфраструктуру (наприклад, поручні), а також те, чи гості будуть входити та виходити з печери в різних місцях, забезпечуючи лінійний потік відвідувачів, чи входити та виходити вони будуть в одному місці. Якщо відвідувачі проходять повз один одного в печері, слід розглянути ці місця, щоб забезпечити достатній простір.

Другим кроком є врахування параметрів навколишнього середовища, таких як повітряний потік, якість повітря, температура, вологість і печерна фауна. Велика кількість відвідувачів у деяких печерах може значно підвищити температуру повітря та концентрацію вуглекислого газу. Одна людина виділяє теплову енергію 80–120 Вт, приблизно стільки ж, скільки одна лампочка розжарювання. Таким чином, група з 50 або 60 осіб під час екскурсії печерою може локально підвищити температуру на 1–2 °С. Управління показовою печерою має гарантувати, що ці коливання лежать у діапазоні природних коливань для печери, і що вони повертаються до нормального рівня протягом короткого періоду часу за нормальних обставин. Підвищення рівня концентрації CO<sub>2</sub> через дихання відвідувачів може коливатися від 1500 до 5000 частин на мільйон, після чого деякі люди можуть почати відчувати стрес. Управління рівнем вуглекислого газу в деяких печерах може вимагати ефективного моніторингу відповідно до цільових стандартів охорони здоров'я. Вентиляційні шахти або модифіковані двері для покращення циркуляції повітря можуть покращити якість повітря в деяких печерах, однак подібні заходи слід ретельно розглядати та застосовувати, щоб не створювати проблем, таких як зміна природного середовища печери.



*Відвідувачі під час екскурсії печерою Барадла Доміца, яка вперше була відкрита як показова печера в 1806 році. Печерна система проходить під кордоном між Угорщиною та Словаччиною та знаходиться в печерах Аггтелек і Словацького карсту, що є об'єктом Всесвітньої спадщини. Печера також знаходиться у двох окремих біосферних заповідниках ЮНЕСКО – Аггтелек, Угорщина та Словенський Крас (Словаччина) – і двох окремих Рамсарських територіях (система печер Барадла та пов'язані водно-болотні угіддя, Угорщина та Доміца, Словаччина). Фото Чаб Егрі.*

Наявність печерної фауни, наприклад, кажанів або видів, адаптованих до печер, також слід враховувати, щоб мінімізувати вплив на тих істот, які знаходять свій дім у печері. Там, де кажани ночують у показовій печері, слід бути

особливо обережним, щоб переконатися, що відвідувачі не турбують їх, особливо коли кажани сплять або розмножуються.

Оскільки фізичні властивості та параметри навколишнього середовища кожної печери є індивідуально-специфічними, пропускна здатність відвідувачів не може бути застосована однаково, але має визначатися окремо для кожної конкретної печери та екскурсійного туру. Багато показових печер використовують економіку як інструмент для максимізації досвіду відвідувачів і мінімізації впливу на навколишнє середовище. Одним із прикладів є збільшення плати за вхідний квиток сезонно або в періоди напруженого часу, що називається «змінним ціноутворенням», щоб зменшити перенаселеність у періоди напруженого часу, що може покращити враження від відвідувачів і водночас мінімізувати вплив перенаселеності на навколишнє середовище. Іншим прикладом демонстраційних печер, які враховують усі фактори під час прийняття рішень щодо пропускної спроможності відвідувачів, можуть бути напружені святкові вихідні, коли керівництво може визначити, що економічні вигоди переважають вплив на навколишнє середовище більшої, ніж зазвичай, кількості відвідувачів, що спричиняє підвищення температури в печері, ніж зазвичай протягом обмеженої кількості днів.

Обов'язкова відповідальність керівництва печери - це взяти до уваги кожен із цих впливів на навколишнє середовище та зважити їх разом із досвідом відвідувачів та економічними факторами, щоб встановити максимальну пропускну здатність відвідувачів для конкретної печери.

### *Доступ до показових печер*

Одним із перших і найбільш очевидних наслідків розвитку печери для туризму є модифікація існуючого входу (діяльність, яка також іноді здійснюється для контролю доступу до дикої печери) або будівництво нового входу. У багатьох екскурсійних печерах необхідно забезпечити відвідувачам інший доступ до екскурсійної печери, ніж доступ до диких підземних ділянок, який використовувався до перетворення печери на експозиційну. Такий штучний доступ міг бути через тунель або новий вхід, виритий у печеру. Якщо створити штучний вхід, це може змінити циркуляцію повітря в печері та спричинити порушення екосистеми. Щоб уникнути порушення циркуляції повітря в печері, в будь-якому штучному вході в печеру необхідно встановити шлюз. Рішення про відмову від установки шлюзу приймається тільки після проведення спеціального дослідження. Переважним способом встановлення ефективної системи повітряного шлюзу є використання подвійних дверей.

Якщо показові печери мають природний вхід, придатний для відвідувачів, необхідно встановити відповідну форму контролю доступу. У минулому було прийнято встановлювати ворота на будь-яких входах, які дозволяли відвідувачам обходити основний пункт входу, за який стягується плата. Це мало негативний вплив, обмежуючи або навіть повністю перешкоджаючи введенню поживних речовин і переміщенню печерної фауни, особливо кажанів. Якщо ворота встановлюються у входах і проходах, якими користуються рукокрилі, то у верхній секції бажано мати горизонтальні бруси з повітряним зазором висотою 15 см і шириною 45-75 см. Ці повітряні проміжки дозволять кажанам мати вільний прохід. Усі нові печерні ворота мають бути сконструйовані таким чином, щоб забезпечити вільний прохід для кажанів, а старі ворота мають бути замінені на конструкції, зручні для кажанів. Деякі види уникають будь-яких воріт, проте в цьому випадку необхідно знайти альтернативне рішення, наприклад огорожу (див. Інтернет-ресурси: ворота печери).

### *Наземні роботи*

Для того, щоб пов'язати топографію ділянки з підземним простором печери, необхідно мати план місцевості, який зображує поверхневі та підземні деталі печери. Ця інформація настільки ж важлива для наявної показової печери, як і для тієї, що планується. Після того, як буде відомий зв'язок між надземними властивостями та підземними деталями, можна буде оцінити фактори, пов'язані з водою. У багатьох випадках єдиним фактором може бути просочування поверхневої води вниз крізь скелю над печерою, яку не слід порушувати. Крім того, необхідно дуже ретельно вивчити ризик потрапляння поверхневих вод до печери у вигляді повеней.

Важливо, щоб ділянки з твердим покриттям, такі як будівлі та стоянки, не розташовувалися над безпосереднім водозбірним басейном печери (печера, куди можна потрапити, і канали, що стікають у неї), де відбувається природне просочування дощової води з поверхні в печеру. Якщо існує ймовірність втручання в природну перколяцію, слід шукати інші рішення. Ці рішення можуть бути такими ж простими, як перетворення поверхні водонепроникної паркувальної зони на покриття, яке пропускає через нього дощову воду. Якщо будівлі розташовані над печерою, їх бажано перенести або, якщо фінанси не дозволяють, зробити це, коли термін служби будівлі завершиться. Вода, що стікає з дахів та інших

твердих поверхонь, не повинна концентруватися, а має бути широко розсіяна. Також важливо забезпечити належну утилізацію будь-яких стічних вод, які утворюються на ділянці, і не допускати забруднення підземного світу.

Існує природна тенденція намагатися розташувати будівлі, необхідні для роботи печери, якомога ближче до входу в печеру, і в деяких випадках вхід у печеру або вихід із неї знаходиться в будівлі, яка має інше призначення, зазвичай як музей, центр інтерпретації або сувенірний магазин. Однак у багатьох печерах природно висока концентрація радону, радіоактивного газу, і якщо він витікає з печери в місця, де працює персонал, працівники накопичуватимуть дозу радіації. Отже, гарною практикою є забезпечення вентиляованої зони між входом і/або виходом у печеру та будівлею, в якій працює персонал.

### *Інфраструктура в показових печерах*

Розвиток печер для туризму зазвичай вимагає фізичної зміни природних проходів, а також встановлення освітлення, доріжок, платформ та відповідної інфраструктури. У всіх нових забудовах, чи то в наявних печерах, чи на нових ділянках, необхідно ретельно оцінювати, проектувати та реалізовувати потреби в інфраструктурі. Очевидно, що відвідувачам необхідно забезпечити задоволення та безпеку, але метою має бути мінімізація змін та порушення природного середовища печери. Розробка повинна бути спрямована на мінімізацію змін у морфології проходу та пошкодження відкладень і спелеотемів. Питання, пов'язані з печерними доріжками та печерним освітленням, розглядаються більш детально нижче. У деяких великих показових печерах використовується механізований транспорт, наприклад, ліфти, автобуси та потяги, щоб полегшити доступ і забезпечити більшу кількість туристів. Хоча ці види транспорту є дружніми до відвідувачів з проблемами пересування, вони можуть заподіяти значні зміни середовищу печери, тому їх необхідно ретельно спланувати.

### *Доріжки в показових печерах*

Доріжки є важливим компонентом для забезпечення міцної та безпечної пішохідної поверхні та чітких кордонів для відвідувачів. Туристичні маршрути через печеру повинні бути розроблені таким чином, щоб мати мінімальний вплив на біологічні середовища існування в печері та на спелеотеми. Маршрут печерної стежки має вести відвідувача досить близько до основних визначних пам'яток, щоб вони могли їх побачити та сфотографувати, але не настільки близько, щоб можна було торкнутися або випадково пошкодити їх. Підлоги з печерними відкладеннями повинні бути захищені підвищеними доріжками, коли це можливо, щоб зберегти цінність їхнього середовища проживання, скам'янілостей та історію відкладень.

Доріжки в печері не обов'язково повинні бути занадто широкими. Наприклад, необов'язково – хоча й бажано – щоб двоє людей йшли пліч-о-пліч. Наявність поодинокі доріжки є достатньою, але доцільно створити кілька ширших зон, де можна зібрати екскурсійну групу, щоб послухати гіда. Доріжки в печері можна використовувати для розміщення інженерних труб, каналів і кабелів під поверхнею доріжки або поруч із нею. Бажано, щоб ці інженерні комунікації не були закладені в бетон. Перемикачі керування системою освітлення повинні бути легкодоступними з доріжки.

Доріжка має складатися з трьох основних компонентів: пішохідної поверхні, бокових бордюрів та поручнів. Бажано, щоб матеріали, які використовуються для встановлення доріжок, мали найменший вплив на естетику печери і на її підземне середовище.



*Висока доріжка в печері Gouffre d'Esparrros, Франція. Стрілка вказує на сітку, яка використовується для забезпечення додаткового захисту та запобігання потраплянню осаду на спелеотемі внизу. Фото Джона Ганна..*

Матеріали, які використовуються для пішохідних поверхонь, повинні бути нетоксичними для середовища печери. Традиційно, особливо у вапнякових печерах, улюбленим матеріалом для пішохідної поверхні був бетон, який, як правило, є найближчою речовиною до породи, з якої сформована печера. Бетон також широко використовувався там, де доріжки не можна підняти. Бетон має суттєві переваги: естетичне змішування з печерою та довговічність, однак його недоліками є вага, потенційний безлад під час змішування та заливки та труднощі з видаленням, коли він уже на місці. Є також деякі докази того, що фільтри з бетону можуть мати несприятливий біологічний вплив. Бетон низької щільності можна виготовити з використанням перліту, пемзи або вулканічного шлаку, який має певні переваги щодо зменшення ваги, зберігаючи достатню міцність доріжки. Решітка з нержавіючої сталі також стає все більш популярною як матеріал для будівництва доріжок. Недолік нержавіючої сталі полягає в тому, що вона дорога і вимагає спеціальних технологій для складання та встановлення. Решітка з армованого скловолокном пластику (FRP) з нержавіючими кріпленнями є ще одним популярним матеріалом для печерних доріжок з меншою вартістю та вагою, ніж нержавіюча сталь.

Підняті пішохідні поверхні, виготовлені з нержавіючої сталі, FRP або інших відповідних решіток мають перевагу в тому, що служать довго, вимагають мінімуму обслуговування, мають менший вплив на підлогу печери, та їх відносно легко видалити, так що при необхідності печеру можна повернути до свого природного стану. Однак решітки усіх типів дозволяють ворсинкам, сміттю, бруду та дрібним предметам провалюватися на підлогу печери, і, якщо проект не враховує це, може бути дуже важко зняти решітку та очистити підлогу печери.

### Бордюри

Бордюри або накладки мають кілька різних цілей. Головні з них – утримувати ноги відвідувачів і захищати елементи печери за межами доріжки. Інша ціль полягає у тому, що зовнішня сторона бордюрів, звернена вбік від доріжки, забезпечує зручне місце для інженерних труб і кабелів. Бордюри також можуть допомогти утримувати ворсинки та сміття, які залишаються від відвідувачів.

### Поручні

Поручні (або огорожі) забезпечують стабільність або підтримку для відвідувачів, не даючи їм зійти з доріжки, де це може бути небезпечним. Найкращим матеріалом для виготовлення поручнів у виставкових печерах є нержавіюча сталь. Переваги цього матеріалу полягають у тому, що він не потребує технічного обслуговування, його можна збирати та

зварювати в печері, а також його можна використовувати як водопровідні труби для доставки прісної води в печеру. Недоліками цього матеріалу є його вартість і яскравість – це не естетично. Використання тросу з нержавіючої сталі, а не суцільних проміжних стійок або суцільних рейок, встановлених під самим поручнем, може значно зменшити візуальний вплив суцільної сталі. Також допомагають криві, а не вигини під гострим кутом. Рейки з армованого скловолокном пластику (FRP) із кріпленнями з нержавіючої сталі зараз стають все більш популярними та забезпечують ефективне рішення без значних грошових витрат.

Хоча така інфраструктура, як доріжки, призначена для надання безпечного доступу для відвідувачів і захисту печери від їхнього впливу, сама установка інфраструктури може спричинити серйозні наслідки, якщо її не виконати обережно. Перед початком будівельних робіт слід провести оцінку впливу на навколишнє середовище та скласти план пом'якшення впливу на навколишнє середовище та план управління (EMMP). EMMP слід впроваджувати та контролювати, щоб мінімізувати шкоду ресурсам печери під час будівництва.

## *Печерне освітлення*

Енергетичний баланс печери в ідеалі повинен бути в межах природних (до розвитку) варіацій. Електричне освітлення виділяє як світло, так і тепло, тому будь-які світильники повинні мати високу ефективність, виробляючи якомога меншу кількість тепла. В багатьох виставкових печерах було замінено старі системи освітлення на сучасне, високоефективне світлодіодне освітлення (LED), яке живиться від джерела низької напруги. Таке освітлення слід використовувати в усіх нових розробках та модернізації освітлення печер.

У показових печерах, де відвідувачі пересуваються групами, маршрут екскурсії доцільно розділити на зони, світло в яких вмикає або вимикає гід. Це дає змогу освітлювати лише ті частини печери, які зайняті відвідувачами. Це важливо для зменшення нагрівання середовища печери та запобігання росту лампенфлори, а також зменшення кількості необхідної енергії та її фінансових витрат. У виставкових печерах, де відвідувачі пересуваються самостійно, освітлення може бути пов'язане з датчиками руху та таймерами. Електросистема повинна бути встановлена в безпечних, добре збалансованих ланцюгах.

Важливо, щоб певна форма аварійного освітлення завжди була доступна на випадок збою в основному джерелі живлення. Завжди має бути доступне аварійне освітлення, незалежно від того, чи це повне джерело безперебійного живлення, чи система аварійного освітлення з незалежним джерелом живлення. Можуть бути застосовані місцеві норми, які можуть пропонувати ліхтарики на батарейках або подібні пристрої.

Одним із важливих моментів у будь-якій схемі освітлення є правильність розташування освітлювальних приладів, електропроводки та трансформаторів, щоб мінімізувати як візуальний вплив, так і пошкодження печери. Лампенфлора є звичайним наслідком введення в печеру штучного освітлення. Багато видів водоростей та інших вищих рослин можуть розвиватися в результаті введення штучного світла. Освітлення повинно мати спектр випромінювання з найменшим можливим внеском у спектр поглинання хлорофілу, щоб мінімізувати ріст лампенфлори. Ще один спосіб запобігти росту лампенфлори – зменшити рівень енергії, що надходить на поверхню, де можуть жити рослини. Безпечна відстань між джерелом освітлення та поверхнею печери залежить від інтенсивності освітлення. Як приблизний показник, відстань в один метр може бути безпечною. Світло слід обережно спрямовувати на об'єкт, який потрібно висвітлити, і слід уникати спрямування світла на навколишні території або в очі відвідувачів – екранування освітлювальних приладів є дуже корисним у цьому відношенні. У минулому теплі лампи, розташовані надто близько до спелеотемів або печерного мистецтва, завдавали значної шкоди, хоча це менша проблема у випадку користування холодним світлодіодним освітленням.

Дизайн освітлення, який уникає надмірної інтенсивності, не тільки мінімізує вплив навколишнього середовища на печеру, але також може покращити враження від відвідувачів завдяки навмисному використанню темряви та послідовності освітлення на вибраних об'єктах печери. Є два важливі принципи, про які слід пам'ятати під час проектування освітлення для виставкової печери: доступ і атмосфера. Освітлення для доступу має бути на мінімальному рівні, що відповідає безпечному пересуванню всіх відвідувачів печери. Ефективне освітлення можна використовувати для створення безпечного доступу через незнайоме середовище, зони знайомства, яка усуває напруження відвідувачів. Досягти цієї мети можна за допомогою світлодіодних стрічок, світильників на 12 В та інших технологій з низьким енергоспоживанням. Їх можна прикріпити до поручнів або країв доріжки, а необхідні інвертори або батареї добре заховати внизу. Загалом усі прилади та кабелі повинні бути добре приховані від відвідувачів, але залишатися доступними для обслуговування без подальшого пошкодження печери та її вмісту. Знижене енергоспоживання має переваги, окрім скорочення викидів CO<sub>2</sub>, оскільки менші потреби в електроенергії полегшують використання місцевого джерела безперебійного живлення у разі збою в електромережі. Також виробляється менше тепла. Зараз існує багато таких технологій, але їх слід використовувати як інструменти для досягнення мети, а не як самоціль.

Освітлення для естетики має ґрунтуватися на основній філософії, наприклад, щоб проілюструвати аспекти печер, дослідження, розробки чи історії. Там, де це можливо, освітлення повинно бути послідовним, відвідувачі ведуться від однієї сцени до наступної, можливо, завершуючи тур освітленням цілої камери. Будь-яке світло в темному середовищі матиме драматичний ефект, а дуже далеке світло іноді може посилити ілюзію глибини та таємничості. Освітлення водних споруд може бути дуже ефектним і естетично приємним для відвідувачів. Деякі проекти освітлення печер використовують кольорове освітлення для покращення певних особливостей, тоді як інші використовують нейтральне та холодне світло, щоб продемонструвати природні кольори печери, жоден із яких не має великого впливу на середовище печери. Деякі показові печери мають світлові шоу, синхронізовані з музичними композиціями, щоб покращити враження відвідувачів, що не має жодного відомого негативного впливу на середовище печери.

### *Очисні роботи в печері*

У багатьох показових печерах регулярно очищають шляхи, а іноді й спелеотеми через скупчення пилу, ворсу, намитих відкладень, грибків і водоростей (лампенфлора). Було випробувано кілька підходів, причому найпоширенішим методом є струмінь води під високим тиском, хоча в деяких випадках також випробували очищення, використання поверхнево-активних речовин і очищення парою. Можна очікувати, що всі ці методи матимуть певний вплив на поверхні спелеотемів. Коли використовуються струмені води під високим тиском, оператори повинні намагатися обмежити кількість і частоту промивань і використовувати мінімальну кількість проходів сопла над кальцитовою поверхнею.

Лампенфлора — сумнозвісне лихо показових печер — постійна проблема. Використання сильних мийних засобів, таких як хлорний відбілювач, викликає бажання позбутися забруднюючих організмів – водоростей. На жаль, хімічне використання, в тому числі хлорний відбілювач, неефективне в довгостроковій перспективі, оскільки лампенфлора швидко росте за правильних умов. Єдиний спосіб мінімізувати ріст водоростей — контролювати розвиток лампенфлори шляхом зменшення світла та тепла, а не періодичної хімічної обробки, яка вбиває ріст лише на короткий період.

Але при розмноженні лампенфлори її необхідно знищити хімічними препаратами. Однак гербіциди ніколи не слід використовувати в печері, оскільки вони надто токсичні для печерного середовища. Слід уникати гербіцидів, які часто використовуються в сільському господарстві, тому що вони повільно розкладаються, а їх токсичність може серйозно вплинути на печерну фауну. Сігна (2011) досліджував використання сильних відбілюючих хімічних речовин для зменшення або видалення лампенфлори. Двома найбільш широко використовуваними хімічними речовинами є гіпохлорит натрію (хлорний відбілювач 5% об.) і перекис водню (15% об.). Гіпохлорит натрію виділяє хлор у печерне середовище і, хоча є ефективним очисним засобом, є отруйним для печерного життя, незважаючи на те що він може швидко розсіюватися. Перекис водню також може мати ненавмисні біологічні ефекти там, де присутні осади, багаті залізом. Нове дослідження в США (Kieft et al., 2021) показує, що відбілювач і перекис водню не слід використовувати через токсичність відбілювача і через те, що перекис водню руйнує спелеотеми. Бензалконію хлорид — ефективний нетоксичний біоцид, який знищує лампенфлору при застосуванні в концентраціях 1–10 %. Автори також рекомендують використовувати бактерицидне ультрафіолетове світло (UV-C). Незалежно від того, який засіб використовується, рекомендується ретельно вимити поверхні після очищення, бажано використовувати печерну воду, а не хлоровану воду з громадського джерела. Щорічне прибирання, мабуть, є найбільш доцільною частотою, але деякі місця можуть отримати користь від більш частого прибирання лише печерною водою.

## Нові матеріали

Нові матеріали постійно розробляються, і деякі з них мають великий потенціал для використання в печерах. Однак у той час як деякі нові матеріали виявилися чудовими, інші, такі як композитна деревина, цього не зробили, що призвело до негативного впливу на печеру. Одним із аспектів проблеми є те, що існує багато типів композитних матеріалів, і слід уникати тих, що містять деревоволокно, оскільки вони можуть підтримувати ріст бактерій, водоростей та плісняви. Специфікації всіх композитних матеріалів слід ретельно перевіряти, щоб переконатися, що матеріал не містить деревини або паперу. Якщо планується використання композитного матеріалу в печері, його слід використовувати лише після експериментальних широких випробувань в середовищі печери, в якій його планується використовувати. Нержавіюча сталь виявилася чудовим матеріалом для використання в печерах. Однак нержавіюча сталь буває різних сортів і якості. Велика частина витрат на використання нержавіючої сталі припадає на пошук потрібного типу матеріалу. Рекомендовано планове використання в печері саме нержавіючої сталі вищого гатунку. Було розроблено новий пластик, який має великий потенціал для використання в печерах. Великою перевагою цих нових пластиків є те, що вони легкі, мають механічні характеристики, близькі до сталі, і їх легко обробляти простими інструментами. Пластикові частини з'єднані болтами з нержавіючої сталі, що дозволяє легко оновити конструкцію в майбутньому. Доріжки можуть бути створені за допомогою пултрузій – це пластик, створений за допомогою протягування вкритого смолою скловолокна через нагріту матрицю. Вони часто покриті піском для кращого зчеплення, але можуть дуже швидко зношуватися, якщо є велика кількість відвідувачів. Поручні також можуть бути виготовлені з пластику, армованого скловолокном.

## Матеріали, яких не має бути зазвичай у показовій печері

Під час огляду теми щодо матеріалів, які не належать до показової печери, слід визнати, що багато матеріалів, перелічених у цьому розділі, колись у минулому вважалися придатними для використання. Як наслідок, можливо, важко знайти наявну показову печеру, яка б не містила одного або кількох небажаних матеріалів. Печери, які перебувають у процесі розробки як показові, повинні уникати використання всіх матеріалів, які зараз відомі як небажані, як описано нижче.

### Оцинковані метали

У попередні десятиліття оцинковані сталеві труби були основним матеріалом для використання в якості перил, сходів і платформ. Однак цинк у цьому матеріалі легко окислюється та вимивається в навколишнє середовище печери. Вилугування оцинкованих покриттів може мати несприятливий вплив, особливо на чутливу печерну фауну безхребетних і кальцитові утворення. Якщо в наявній виставковій печері використовується оцинкована сталь, слід розробити програму її заміни іншим матеріалом.

### Різнорідні метали

Використання різнорідних металів, таких як різні типи алюмінію, завжди спричиняє корозію при контакті один з одним у вологому середовищі. Перше і найкраще рішення - не використовувати різнорідні метали в поєднанні. Наступним найкращим рішенням є ізоляція матеріалів за допомогою неопренових або нейлонових шайб, але це може лише відстрочити неминуче, якщо плівка води поширюється через бар'єр. Також не рекомендується використовувати жертвувачі аноди, оскільки вони вироблятимуть якусь хімічну сполуку, яка може мати негативний вплив на печеру.

## Кольорові метали

Багато кольорових металів також використовувалися в минулому в печерах. Мабуть, найпоширенішою з них була мідь та її споріднені сплави, які були джерелом багатьох зелених плям у печерах.

## Залізо та сталь

Необроблене залізо та сталь схильні до іржі. Навіть ті види м'якої сталі, які містять невеликий відсоток вуглецю, схильні до окислення (іржавіння). Отже, необроблену сталь і залізо не слід використовувати в показових печерах, оскільки це призведе до появи плям іржі.

## Бітум (асфальт)

Бітум (асфальт) — це в'язка суміш гідрокарбонатів чорного кольору, яку отримують з нафти. Бітум має здатність вимивати продукти, які є токсичними для біоти, і можуть перешкоджати утворенню кальцитових спелеотемів. Якщо бітум знайдено в існуючій показовій печері, слід розробити плани його видалення якомога швидше. Бітум ніколи не можна використовувати всередині печери, яка розробляється як показова.

## Деревина

Протягом багатьох століть деревина була улюбленим матеріалом для будівництва та виготовлення предметів, наприклад меблів. Тому було природно, що деревина буде використовуватися на перших етапах розробки показових печер. На жаль, деревина має відносно короткий термін придатності, перш ніж почне гнити. Це стосується креозотованої та обробленої під тиском деревини. Як правило, середовище печери ізольоване, і введення енергії ззовні змінить природний баланс печери. Винятки трапляються там, де річка чи струмок протікає через печеру, або там, де з певних причин може бути високий вміст органічних речовин.

Коли деревина руйнується і розкладається в середовищі печери, вже гнила деревина може стати частиною харчового ланцюга. Деревина, що розкладається, може сприяти розвитку грибків або бактерій і навіть створює ризик вторгнення екзотичних видів, які можуть замінити місцеві печерні види. Якщо будь-яка форма деревини використовується для створення наземного покриття, будівельних лісів і подібних тимчасових цілей, не слід обробляти її в печері, якщо це взагалі можливо. Його слід демонтувати після завершення роботи, обережно видаливши будь-які обрізки або уламки, що утворилися в результаті роботи або демонтажу конструкції. Якщо гнилу деревину необхідно витягти з печери, слід подбати про те, щоб вона не розпалася під час транспортування, що призведе до неприродного надходження поживних речовин. Навіть невеликі сліди гнилої деревини можуть спричинити вибух чисельності серед печерних видів, які слід видалити з деревини, перш ніж деревину вивезуть із печери.

Якщо в існуючій печері знайдено деревину, слід розробити план заміни її іншими матеріалами у разі, коли це дозволяє економіка та коли впровадження деревини призводить до значних змін у природному середовищі. Період часу, який охоплює такий план, повинен бути обмежений очікуваним строком придатності деревини на місці. Під час розробки виставкової печери слід вибирати інші матеріали, крім дерева. Лише у глетчерних печерах екологічні характеристики сумісні з деревиною, яка часто використовується для будівництва доріжок і поручнів, оскільки вона не слизька і її можна легко обробляти в умовах морозу.

## Моніторинг

Базовий моніторинг клімату печери повинен проводитися регулярно, а також має існувати ухвалений офіційний графік моніторингу. Можна контролювати температуру повітря, вологість, радон (якщо його концентрація близька або перевищує встановлений законом рівень) і температуру води (якщо є). Моніторинг вуглекислого газу слід включити, якщо його концентрації значно виходять за межі діапазону природних коливань. Також можна контролювати потік повітря в печеру та з неї. Під час відбору вчених для проведення досліджень у печері дуже важливо, щоб лише вчені, які мають задовільний досвід роботи зі спелеосередовищем, були залучені до питань, пов'язаних із печерами. Багато хто з інших компетентних вчених може бути не в повній мірі обізнаним про печерне середовище. Якщо керівництву печери



буде дана неправильна порада, це може призвести до загрози навколишньому середовищу печери. Спелеологія — вузькоспеціалізована галузь.

### *Адміністратори показових печер*

Адміністратори показових печер повинні бути компетентними як в управлінні бізнесом у показових печерах, так і в захисті навколишнього середовища. Менеджери рекреаційних спелеотурів ніколи не повинні забувати, що печера — це «золота жила», і що печеру потрібно зберігати з великою обережністю.

### *Спелеогіди в показових печерах*

Спелеогіди в печері відіграють дуже важливу роль, оскільки вони є медіаторами між печерою та відвідувачем. Дуже важливо, щоб спелеогіди були належним чином підготовлені. Керівництво має підготувати посібник, який буде написаний про хід проведення спелеотурів у конкретній печері. Провідники повинні бути навчені груповій динаміці, а також особливостям печери: геології, біології, палеонтології, культурному та історичному значенню, а також ефективним способам надання такої інтерпретації відвідувачам у інформативній та розважальній формі. Печерні екскурсиводи мають чудову можливість надихнути відвідувачів стати прихильниками печер і карстових ландшафтів. Вони також відповідають за безпеку відвідувачів і захист печер.

### *Інтерпретація*

Метою інтерпретації є надання відвідувачам інформації про печеру, її природні та культурні цінності, щоб підвищити розуміння спелеодосвіду. Інший аспект інтерпретації включає ефективну передачу правил і норм для захисту ресурсів печери та безпеки відвідувачів і персоналу. Слід розробити, продемонструвати та повідомити відвідувачам ці правила, щоб допомогти їм зрозуміти та оцінити їхню важливість, а також залучити добровільне виконання. У ті печери, куди відвідувачі входять групами в супроводі спелеогіда або індивідуально під наглядом гідів, розташованих по всій печері, спелеогід повинен бути відповідним чином обізнаний, щоб забезпечити дотримання правил і норм щодо захисту печер і безпеки відвідувачів.

Досвід відвідувача печери формується низкою чинників, які діють до, під час і після фактичного відвідування. З цих чинників усвідомлення, очікування, прийом (прибуття) і спогад можуть бути важливішими, ніж сам досвід перебування в печері, і в довгостроковій перспективі спогад, ймовірно, має найбільше значення для людини. Будь-який моніторинг досвіду відвідувачів повинен бути розроблений для оцінки цих факторів.

Деякі основні принципи розробки досвіду для відвідувачів:

- Інформація, надана громадськості в Інтернеті або на сайті, має бути точною та не створювати оманливого враження. Надання цієї інформації до візиту може зменшити небажану поведінку та посилити очікування.
- Подбайте про те, щоб вхід у печеру мав найкращий можливий вигляд.
- У тих печерах, де є екскурсії з гідом, кожна екскурсія має бути розрахована на відповідну кількість відвідувачів, на відповідний проміжок часу та проводитись під керівництвом досвідченого гйда, який встановлюватиме позитивний контакт із відвідувачами.
- Слід докласти всіх зусиль, щоб визначити специфічні культурні потреби та інтереси всіх відвідувачів і забезпечити їх реалізацію..



*Одна з чотирьох інтерактивних станцій, що надають мультимедійну інформацію німецькою та англійською мовами, печера Вендельштайн, Німеччина. Фото Петера Гофмана.*

Рекомендується, щоб у кожній показовій печері була розроблена окрема тема або кілька тем для використання в екскурсіях, у рекламних матеріалах в Мережі, які могли б легко стати основою для освітньої програми. Хоча розробка цих тем створює певні труднощі для гідів і менеджерів, вони можуть призвести до більш значущого спелеологічного досвіду для відвідувачів і більш повноцінної робочої сили. У минулому більшість екскурсій по печерах проводилися з гідом, але в 21 столітті перехід до самостійних екскурсій по печерах у деяких випадках зумовлений бажанням зменшити витрати за рахунок використання меншої кількості гідів, але також можна прийняти модель, за якої гідів розміщують в певних місцях печери для надання безпеки, запобігання пошкодження та допомоги в додаткових поясненнях, якщо це необхідно. Остання модель особливо доречна там, де місцеві сільські громади залучені до печерного туризму, а гідів забезпечують значну зайнятість місцевих жителів. Деякі виставкові печери використовуватимуть кожен з цих моделей або часткових моделей сезонно, оскільки кількість відвідувачів коливається.

Самостійні екскурсії вимагають іншого підходу до перекладу, і зараз використовуються такі підходи:

Підходи до перекладу, які використовуються в автопоказових печерах

Тип інтерпретації	Використовується в наступних печерах:	
Тільки вивіски	У більшості печер, включно в наступних країнах:	
	Австралія	Печера Фігового дерева, Новий Південний Уельс
		Мамонтова печера, Західна Австралія
	Австрія	Лампрехтсофен
	Китай	Печера Фуронг, Чунцинь
		Печера Тенлун, провінція Хубей
	Малайзія	Оленяча печера, Саравак
		Велика печера Нія, Саравак
	Словенія	Шкоцянські печери
	США	Мамонтова печера, Кентуккі
Ручне налаштування повідомлень кількома мовами	Лаос	Печери В'єнг-Сай
	Іспанія	Кеува-де-Нер'я
	США	Карлсбадські печери
Постійні станції зі звуковими повідомленнями	Мексика	Печера Баланканче
	Великобританія	Дан ір Огоф
Додатки на смартфон	Великобританія	Трек Кліфф Каверн

Який би тип не використовувався, задовільна інтерпретація має вирішальне значення, в тому числі використання тематичної інтерпретації та включення сильного заклик про збереження. Інфодошки мають бути місцевою мовою, а також будь-якою міжнародною мовою, яка переважає.

## Тези

- (20) Наявні екскурсійні печери мають регулюватися відповідно до найвищих можливих стандартів і мають функціонувати за відповідністю рекомендацій ISCA, а також наведених там інструкцій.
- (21) Необхідно провести ретельне дослідження для визначення екологічної та економічної стійкості печери перед тим, як перетворити її на показову.
- (22) Безпека має бути найпершим пріоритетом у кожній показовій печері.
- (23) Визначення пропускної спроможності певної печери для відвідувачів – це баланс між гарантією безпечної, інформативної та приємної спелеоекскурсії для відвідувачів і мінімізацією впливу на печерне середовище при досягненні економічних цілей. Необхідно враховувати всі три фактори: досвід відвідувачів, вплив на навколишнє середовище та економічні цілі.
- (24) Щоб проаналізувати потенційний вплив поверхневих робіт на печеру, необхідно мати план місцевості (результат топозйомки), який зображує поверхню та підземні об'єкти печери.
- (25) Відповідна інфраструктура на вході в показову печеру є важливою для збереження природного середовища печери.
- (26) У всіх нових розробках та дослідженнях, чи то в наявних печерах, чи на нових ділянках, потребу в інфраструктурі слід ретельно оцінювати, проектувати її та встановлювати. При цьому слід звертати увагу на використання передових технологій.
- (27) Мережу електричного освітлення в печері бажано розподілити на зони, щоб забезпечити ефективне освітлення лише тих частин печери, які функціонують для відвідувачів. Слід звести до мінімуму використання світла, щоб освітлювати лише певні елементи та створювати атмосферу, яка покращить відвідувачам враження від печери.

- (28) Ефективне адміністрування екскурсійними печерами ґрунтується на моніторингу, що забезпечує адаптивне керування. Як мінімум, основний моніторинг печери, фауни, клімату та концентрації вуглекислого газу має проводитися згідно з графіком моніторингу.
- (29) Адміністрація показових печер повинна бути компетентною як в управлінні бізнесом в екскурсійних печерах, так і в захисті навколишнього середовища.
- (30) Гіди в будь-якій показовій печері відіграють роль медіатора між печерою та відвідувачем. Важливо, щоб гіди орієнтувалися належним чином у цінностях конкретної печери та інтерпретації цих цінностей для відвідувачів.
- (31) Усі показові печери мають отримувати високоякісну інтерпретаційну інформацію, щоб допомогти громадськості краще зрозуміти та оцінити середовище печери.



Відвідувачі можуть відчувати красу та текстуру льоду в печері Айсризенвельт, Австрія. Фото Чабі Еґрі.

### Пригодницько-туристична діяльність на поверхневому карсті

У 21 столітті спостерігалось зростання пригодницької та туристичної діяльності на голій поверхні карсту, а саме на ділянках вапнякового покриття, вершинного карсту, скель та каньйонів. Ці складні та іноді віддалені середовища існування можуть мати невизнані цінності біо- та георізноманіття, які слід зберегти, особливо в територіях під охороною. Тому важливо досліджувати ці території на наявність рідкісних або ендемічних видів рослин або тварин, або на крихкі карстові елементи, як частину процесу прийняття рішення про те, чи дозволити таку діяльність, на яких умовах і в якій місцевості.

Будь-яка інфраструктура, необхідна та дозволена для підтримки такої діяльності, повинна бути спроектована та встановлена таким чином, щоб вона мінімально впливала на карст, як візуально, так і з точки зору його цілісності, і могла бути легко демонтована в майбутньому, якщо це буде необхідно, повертаючи карст майже до його природного стану.

Карстові схеми на основі віа-ферата виникли в 19 столітті нашої ери в альпійських карстових районах Європи. Віа-ферата стала набагато популярнішою з кінця 20 століття особливо в Європі і поширюється по всьому світу. Карстові схеми з доступом, полегшеним різними комбінаціями інфраструктури, були розроблені через вершинний карст у кількох місцях. На WHP Tsingy de Bemaraha на Мадагаскарі траса Big Tsingy включає доріжки, платформи, драбини, підвісні мости та

дротові лінії безпеки. Маршрут через вершинний карст Фу Пха Марн у центральному Лаосі включає зіплайни, віа-ферату, підвісні мости, сітчастий міст і платформи з тросовими лініями безпеки по всій трасі. Ці маршрути дозволяють відвідувачам досліджувати та випробувати вражаючі вершини карстових ландшафтів і бачити ендемічних диких тварин (наприклад, лемурів і лангурів), які в інших місцях є практично недоступними. Відвідувачів у невеликих групах ведуть спелеогіди. Надзвичайно нерівні та відкриті ландшафти гарантують, що відвідувачі залишаються на визначеному маршруті, залишаючи якомога менший вплив на природні екосистеми. Відвідувачам не можна дозволяти ходити або підніматися на вразливу вершину або інші каренові елементи, які можна легко зламати.

Скелелазіння має довгу історію, але протягом 21-го століття відбулося помітне збільшення кількості учасників, особливо у болдерінгу, де не використовуються фіксовані допоміжні засоби та мотузки. Середовища існування на скелях, поєднані історично з найменш порушеними, стикаються з більшим антропогенним впливом, ніж будь-коли раніше. Дослідження показали, що альпіністські маршрути мають менший рослинний покрив і меншу біорізноманітність, ніж аналогічні скелі, які не використовуються для скелелазіння. Вапняк зазвичай не руйнується так, як граніт або пісковик. Це може ускладнити встановлення «традиційних» знімних анкерів (упорів і кулачків) для захисту на вапнякових скелях. Натомість у більшості вапнякових зон для скелелазіння використовуються попередньо встановлені анкери для захисту. Існують кодекси поведінки для скелелазіння, такі як «Пакт альпініста» (див. Інтернет-ресурси), що стосуються захисту біорізноманіття, георізноманіття та культурних цінностей (наприклад, місцевого наскельного мистецтва) у районах скелелазіння.



*Зіплайн через вершинний карст у заповідній зоні Фу Пха Марн, Лаос. Фото Green Discovery Laos*

Каньйонінг — це рекреаційна діяльність на свіжому повітрі, яка складається з проходження вздовж каньйону або ущелини, як правило, з текучою течією, з використанням різноманітних технік: спуску, скремблінгу, скелелазіння, стрибків та плавання. Хоча каньйонінг став популярним серед американців і європейців у 1970-х роках, його витоки можна простежити до кінця 19 століття у Франції. Едуард Альфред Мартель, відомий як «батько сучасної спелеології» та першовідкривач-дослідник печер, першим запровадив методи каньйонінгу для проведення наукових досліджень у важкодоступних районах ущелин. Щоб звести до мінімуму вплив каньйонінгу на навколишнє середовище, рекомендується триматися в руслах і уникати рослинності та чутливих берегів річки. Де можливо, слід використовувати природні якорі та незакріплені такелаж таким чином, щоб уникнути пошкодження природних карстових поверхонь і захистити їх. Кодекс поведінки міжнародної організації каньйонінгу для професіоналів (див. Інтернет-ресурси) містить обговорення екологічної обізнаності та захисту.

## Тези

(32) Наявні поверхневі карстові середовища, пересічні або віддалені, можуть мати невизначені цінності біо- та георізноманіття. Їх слід досліджувати й оцінювати у процесі ухвалення рішень щодо дозволу, умов та місця проведення пригодницько-туристичної діяльності.

(33) Інфраструктура, необхідна для підтримки поверхневої карстової діяльності, повинна бути спроектована та встановлена таким чином, щоб вона мінімально впливала на карст, як візуально, так і з точки зору його цілісності, і, якщо необхідно, могла бути легко демонтована в майбутньому, аби повернути карст до його майже природного стану.

## Наукові дослідження

Печери є одним із найкращих місць для вивчення минулої історії нашої планети та людства, а також біологічних еволюційних процесів. Вони є ефективно ізольованими капсулами часу, схильними багатьма способами зберігати органічний матеріал: кістки, мушлі, пилок, деревне вугілля та рослинний матеріал і неорганічний матеріал, наприклад, осадові відкладення, спелеотеми. Печери та входи в печери служать тимчасовим або постійним притулком для багатьох видів рослин, тварин і мікроорганізмів, які не можуть вижити на поверхні, особливо в тих регіонах, де посушливість, низька вологість і екстремальні температури є обмеженнями для організмів.



*Біоспелеолог бере зразки безхребетних у Фрауенхальденголе, Німеччина. Фото Райнера Штрауба.*

Органічні та неорганічні матеріали переносяться в печери за допомогою різноманітних природних геоморфологічних процесів, найчастіше за участю води та, в деяких випадках, вітру. Після накопичення підземних матеріалів і набуття проходів реліктового характеру, накопичені відкладення стають захищені від процесів вивітрювання, які діють на поверхні. Більшість активних карстових гідрологічних систем характеризуються швидкістю течії, хоча в деяких районах підземні води протікають глибоко, і можуть знадобитися сотні чи тисячі років, щоб вони знов текли на поверхні. За умови відсутності змішування з приповерхневими водами вони з'являються без будь-яких антропогенних забруднювачів, таких як хлорфторвуглеводи або введеної людиною атомної радіації 1950-х років. Для вивчення палеосередовища або археології печери тепер постачають «супермаркет» міждисциплінарної інформації, яка включає ізотопи, що збереглися у спелеотемах, скелетному матеріалі та екологічній ДНК (e-ДНК), що залишається в осадових відкладеннях. Для досліджень, зосереджених на показниках зміни клімату, добре збережена печера пропонує багато підказок і навчальних

матеріалів. До них відносяться шари вулканічного попелу, лужні відкладення від повеней і велика кількість ізотопів і органічних залишків, присутніх у краплинній воді та спелеотемах.

Для біологічних досліджень печери порівнюють з «підземними лабораторіями» через їх добре ізольоване та буферне середовище, велику кількість змінних показників і збурень, що впливають на поверхню. До них належать постійна темрява, майже постійна температура та висока вологість, низька кількість поживних речовин та відсутність або сильно приглушена денна/сезонна ознака. Ці відносно стабільні та передбачувані умови роблять печери та печерну фауну вельми придатними для дослідження фундаментальних біологічних питань, що стосуються адаптації, потоку енергії та еволюційних процесів. Активні печери зазвичай регулярно отримують нові елементи з поверхні, але реліктові печери можуть стати ізольованими «підземними островами», на яких можуть еволюціонувати спеціальні місцеві ендемічні види троглобіонтів. Оскільки ці види є рідкісними та зазвичай мають обмежені ареали поширення, важливо оцінити потенційний вплив дослідницької діяльності на них.

Популяції печерних птахів і кажанів особливо вразливі до впливу людей, які заходять у печери, незалежно від наукових цілей. Вилов кажанів і птахів або збирання гнізд у печерних місцях для ночівель і розмноження тварин, чи то для досліджень, чи для традиційних харчових/медичних цілей, може мати дуже серйозний вплив на місцеві популяції. Більшість популяцій печерних безхребетних виявляється менш реакційними або явно занепокоєними присутністю людини. Витоптування є очевидною прямою загрозою для окремих печерних безхребетних, і інтенсивний рух людей може мати значний вплив на вразливі не до кінця досліджені види, що живуть на підлозі печери. Таким чином, витоптування м'яких відкладень є загальною проблемою для всіх спелеологів, а не лише для науковців. Ходьба по живих каменях може розчавити види, які ховаються під ними. Однак більшість популяцій безхребетних, ймовірно, знаходяться в мезокавернах і виходять у печерні проходи лише за відповідних умов.

Надмірне збирання зразків також сприймається як загроза печерній фауні. Так сталося в деяких європейських країнах, де саламандра (*Proteus*) була цінним музейним експонатом. Ентомологи-аматори та професіонали досі шукають печерних жуків та метеликів в якості екземплярів для колекції. Науковий надмірний збір може становити загрозу лише тоді, коли дослідницький проєкт потребує великої кількості зразків, наприклад, популяційно-генетичні дослідження, і лише тоді, коли популяція, яку відбирають, невелика та ізольована. Більшість сучасних біологів усвідомлюють потенційний вплив надмірного збору, і переважна більшість біологічних досліджень проводиться з мінімальним порушенням популяцій і життєздатності видів. Це включає видалення пасток, які більше не використовуються. Проте випадковий збір окремих зразків для наукової ідентифікації та таксономії не слід сприймати як загрозу; скоріше це важливо для точної ідентифікації та збереження видів. Погано сплановані (або проведені) наукові експерименти можуть призвести до впливу на навколишнє середовище. У 1970-х роках, наприклад, була спроба відтворити знамениту підземну лабораторію Муліса (Франція) у бразильській печері всередині охоронюваної території. Спроба виявилася невдалою, що призвело до загибелі багатьох риб, які пристосувалися до печер, а потім проблема загострилася через те, що не вдалося видалити пошкоджені лабораторні конструкції.

Важливо пам'ятати, що найбільші загрози фауні печер і їх екосистемам походять не від наукових досліджень, а від діяльності за межами печери: від видобутку корисних копалин, вирубки лісів, ведення сільського господарства, видобутку підземних вод, забруднення води та осадження. Спелеологи зазвичай можуть ненавмисно впливати на печери, вносячи мікроби в підземні екосистеми (див. Рекреаційні та пригодницькі спелеологічні заходи).

Визначення природоохоронних територій зазвичай підтверджується обширними науковими дослідженнями, що іноді відображається в назві території. Іноді заповідні території створюються, оскільки наукові дослідження продемонстрували існування цінних екологічних активів, які заслуговують на охорону. Це стосується територій з рідкісними видами або такими, що перебувають під загрозою зникнення, або ключових геологічних порід. Однак існує багато карстових охоронюваних територій, особливо тих, які призначені в основному з ландшафтних причин, де є обмежене розуміння процесу, як розвивалися форми рельєфу, і зв'язків, які діють для підтримання роботи системи. Багато карстових природоохоронних територій стали центрами високоякісних досліджень, оскільки вони становлять значні природні цінності, а також тому, що в багатьох частинах світу природоохоронні території вітають наукову діяльність.

Дослідження на заповідних територіях зробили значний внесок у розуміння карстових систем. Національний парк Мамонтова печера у Кентуккі та Національний парк "Карлсбадські печери", обидва об'єкти Всесвітньої спадщини США, були ключовими районами для розвитку карстової гідрогеології та спелеогенезу (Мамонтова печера), а також гіпогенного спелеогенезу та печерної геомікробіології (Карлсбад). В обох парках є дослідницька інфраструктура: житло, а також допоміжний персонал, якого іноді не буває, коли дослідження проводяться на приватних землях. Ще одна перевага досліджень в охоронюваних територіях полягає в тому, що цінне польове обладнання може бути більш захищеним. Прилади моніторингу, такі як флуорометри та реєстратори, що відстежують параметри навколишнього

середовища, зазвичай потрібно використовувати протягом тривалого часу для збору значущих даних із постійним ризиком пошкодження чи крадіжки. Співробітники охоронюваних територій можуть також допомогти у зборі даних, перевірці цілісності обладнання та наданні наукової інформації, недоступної для вчених у віддаленому місці. На кількох заповідних територіях постійно працюють місцеві вчені, яких іноді називають «фахівцями з печер». Це дозволило проводити високоякісні дослідження на регулярній основі. У НП «Мамонтова печера» дослідження постійних наукових співробітників дали найдетальнішу у світі карту басейнів підземних вод у карсті. Додатковою перевагою наявності постійних вчених є можливість надати студентам і широкій громадськості поглиблену інформацію про карст і печери. У США співпраця між НП «Мамонтова печера» і сусіднім Університетом Західного Кентуккі дозволила реалізувати програму «Польові дослідження карсту» — серію тижневих польових семінарів, присвячених карсту та печерам, які проводили місцеві та зарубіжні вчені, діє з 1979 року.

Те, що можна назвати «дослідженням, орієнтованим на внутрішнє середовище», має на меті покращити розуміння природоохоронних територій і, отже, може використовуватися безпосередньо для управління. Добре структурована програма моніторингу (див. Розробка ефективного моніторингу та пом'якшення наслідків), ймовірно, представлятиме форму дослідження, оскільки вона дасть наукові дані, які повинні бути предметом ретельного аналізу. Однак дослідження, орієнтоване на внутрішній простір, відрізняється від звичайного моніторингу вирішенням конкретних питань (наприклад, програма відстеження води за допомогою барвників для встановлення водозбірної площі джерела або джерел) або проблем (наприклад, дослідження зменшення чисельності певного виду рослин або тварин, ідентифіковані моніторингом). На відміну від цього, «зовнішнє дослідження» використовує дані або матеріали, зібрані в охоронюваній території, для вирішення ширших проблем (наприклад, реконструкція минулого середовища з використанням записів, збережених у спелеотемах, або використання печери як підземної лабораторії). Хорошим прикладом останнього є Віварій, розташований за 50 метрів усередині Постойнської печери, Словенія, частина якого є лабораторією, що використовується для наукової роботи та досліджень. Земні печери також використовуються як полігон для випробувань роботів, які можуть бути використані для спелеодосліджень на інших планетах. У деяких ситуаціях фінансування переважно спрямовується на природоохоронні території. У Бразилії, де печери охороняються на федеральному рівні, кошти екологічної компенсації, пов'язані з впливом у печерах, мають переважно спрямовуватися на спелеодослідження. Деякі показові печери, такі як популярна печера Нерха поблизу Малаги (Іспанія), також фінансували дослідження карсту, зокрема наукові конференції.

В усіх природоохоронних територіях дослідження в печерах і на карсті в ідеалі повинні проводитися лише після письмової заяви та надання офіційного дозволу. Дозволи слід подавати завчасно, і бажано, щоб дослідницька група працювала спільно з місцевими громадами, включаючи відповідну оплату послуг. Деякі країни мають спеціальні правила для дослідників з інших країн, які бажають провести науково-спелеологічну діяльність. Мета полягає в тому, щоб переконатися, що дослідники не приймають «колоніальний» підхід і що приймаюча країна ділиться отриманими знаннями. UIS прийняв Кодекс етики для міжнародних спелеологічних експедицій, деякі з яких включають спеціальний дослідницький компонент (див. Інтернет-ресурси). Особливо важливо, щоб ті, хто проводить дослідження в країнах, де немає історії дослідження печер, допомагали місцевим жителям зрозуміти мету своєї роботи, щоб уникнути можливих непорозумінь. Одним із сумних випадків була експедиція до Ефіопії, де місцевим жителям сказали, що спелеотеми «цінні для наукових досліджень», що призвело до того, що деякі люди пішли в печери та вилучили спелеотеми, вважаючи, що їх можна продати.

Там, де це можливо, співробітники охоронюваних територій повинні бути проінформовані про дослідницький проект і, якщо можливо, їх слід залучати до збору даних. Це дозволить їм посилатися на дослідження під час організації екскурсій для груп відвідувачів і краще допомагати наступним дослідницьким групам із детальною інформацією про попередні дослідження. Дослідників слід заохочувати робити свою справу у формі, зрозумілій і доступній відвідувачам. Це може бути зроблено через постерну презентацію в центрі відвідувачів, статтю в Інтернеті або через соціальні мережі. У деяких випадках може бути можливим широкий обмін даними. Британський печерний науковий центр (BCSC) у Печері Пула, місці особливого наукового інтересу в Бакстоні, Англія, створив систему моніторингу печерного клімату в режимі



реального часу. Дані завантажуються на веб-сайт BCSC і можуть бути завантажені та використані будь-ким безкоштовно (див. Інтернет-ресурси).

Рекомендується, щоб форми заявки на отримання дозволу на дослідження містили:

- Опис проєкту та причини, чому його потрібно проводити на території, що охороняється, а не на іншому місці.
- Місце(я), де має бути встановлене обладнання або відібрані зразки (а також обсяг і частота збору зразків) з обґрунтуванням для конкретного обраного місця.
- Оцінка потенційних впливів і засобів, які будуть вжиті для мінімізації цих впливів. Хорошим прикладом є дослідження, які вимагають використання спелеотемів, наприклад, дослідження палеоклімату/палеосередовища. У 1980-х роках, коли були потрібні відносно великі обсяги матеріалу, звичайним явищем було вилучення з печер цілих спелеотемів. Для більшості досліджень це більше не актуально, оскільки потрібна лише невелика кількість матеріалу, який можна отримати шляхом ретельного вилучення тонкого ядра. Після вилучення ядра можна вставити невелику заглушку, що дозволить спелеотемі зажити у разі постійного випадання кальциту. Перевагу слід надавати вже зламанім зразкам спелеотемів, що часто зустрічається в активно відвідуваних печерах. Якщо зламані спелеотемів немає, слід прийняти консервативний підхід, вибираючи матеріал, прихований від очей і з обмеженою естетичною цінністю.
- Подробиці щодо будь-якого запланованого відбору біологічних або мікробіологічних проб. Це особливо важливо, якщо дослідники знаходяться в інших країнах, ніж у тій, де буде проводитися відбір зразків, оскільки деякі країни не дозволяють експортувати ці матеріали без додаткових документів через часті випадки біопіратства. Навпаки, такі країни, як Австралія та США, мають дуже суворі закони щодо імпорту біологічного матеріалу або ґрунту.
- Використання безпілотних літальних апаратів і роботів для печерної фотографії та картографування навченими печерними операторами є нещодавньою розробкою, яка може забезпечити високоякісні дані для наукового аналізу та інтерпретації, але будь-яке використання цих пристроїв має бути схвалено як частина дозволу на дослідження.

Ті, хто оцінює заявки на отримання дозволу, повинні знати, що застарілі методики або протоколи можуть призвести до тривалого ушкодження печерних і карстових ресурсів. Це ставалося під час археологічної та палеонтологічної роботи, коли розкопки та видалення артефактів або біологічних останків проводилися без контекстуальних (тафономічних) досліджень на місці, що значно обмежувало шанси отримати критичну хронологічну інформацію та відомості про відкладення. Якщо можливо, репрезентативну частину депозиту слід зберегти недоторканим, щоб у майбутньому можна було працювати з більш досконалими методами. Стабільні умови навколишнього середовища, які, як правило, сприяють збереженню палеонтологічних комплексів та їхнього контексту, є найбільш вразливими до порушень. Розкопки в таких ходах можуть спричинити значні зміни енергетичного режиму з відповідним впливом на підземне середовище. Усі археологи знають про матеріали, які можуть перешкодити їхнім дорогим методам датування, але після «реконструкції» розкопаних ділянок у багатьох печерних місцях все ще можна знайти гнилі пластикові плівки та потерту сітку для штор. На відміну від порушення поверхні, наслідки людської діяльності в підземних середовищах із середнім або низьким енергоспоживанням можуть зберігатися протягом сотень або навіть тисяч років. Слід заохочувати дослідників використовувати переваги технологічних досягнень, зокрема можливості віддаленого моніторингу поверхневих ділянок, таким чином зменшуючи кількість відвідувань. Фотоелектричні панелі та малі вітряні турбіни дозволяють здійснювати

безперервний моніторинг без необхідності відвідування для заміни батарей, а дані можна завантажувати за допомогою мобільного телефону або супутникових мереж.



*Вилучення спелеотему для дослідження палеоклімату, що проводиться згідно з дозволом на території особливого наукового інтересу у Великобританії. Фото Джона Ганна.*

## Тези

- (34) Усі природоохоронні території з печерами та карстом повинні розробити політику управління дослідженнями, які дозволятимуться лише після отримання та ухвалення заявки.*
- (35) Охочі до проведення печерних досліджень зобов'язані продемонструвати, що вони або знайомі з печерним середовищем і місцевим кодексом спелеології мінімального впливу, або вони працюють з досвідченими спелеологами, які гарантують дотримання цього кодексу.*
- (36) Для тих печер, що мають план адміністрування, має бути розділ про науково-дослідницьку діяльність.*
- (37) Усім дослідникам, які працюють у печерах або на карсті, як всередині, так і за межами територій під охороною, рекомендовано ретельно оцінювати свої пропозиції, в тому числі порівняння потенційних переваг із ризиком негативного впливу на навколишнє середовище чи культурні цінності.*
- (38) Необхідно акцентувати увагу на мінімальних методах відбору зразків фауни, спелеотемів і відкладень, а дослідники повинні взяти на себе зобов'язання публікувати результати в академічних ЗМІ, а також у формі зрозумілій громадськості. Дослідники зобов'язані вивезти обладнання та відновити місце (якщо необхідно) після завершення проєкту.*

## Сільське та лісове господарство

Розвиток аграрної промисловості був нерозривно пов'язаний із видаленням природної рослинності, переважно лісів, і її заміною сільськогосподарськими угіддями. Таким чином, вимушена людиною сукцесія рослинності порушила природно сформовані екосистеми зі специфічним флористичним складом і довгостроково адаптованою біотою. У всьому світі єдині карстові території, які не зазнали певного впливу лісового та сільського господарства, знаходяться у віддалених місцях або вже отримали надійний захист, який перешкодив сільському господарству чи вирубці лісів. Багато антропогенних впливів на карст є прямими та локалізованими, наприклад впливи видобувної промисловості, причому вплив варіюється

від невеликого до глибокого. Опустелювання гірських порід, яке поширене в деяких частинах Середземноморського басейну та на півдні Китаю, наприклад, є наслідком ерозії ґрунту, спричиненої видаленням місцевої рослинності та подальшими сільськогосподарськими методами. Це було описано як найглибший вплив людини на карст. Навіть у помірних районах, де карст в основному вкритий ґрунтом, найбільший антропогенний вплив (з точки зору площі охоплення) зазвичай відбувається від сільського господарства.



*Карстовий ландшафт, який використовується для випасу худоби, Мірадор-де-Камба, Астурія, Іспанія. Фото Девіда Гіллісона*

Середземноморський регіон, колыска європейської цивілізації, є «типичним місцем» впливу людини на теплий помірний карст. Його первісні соснові та кедрові ліси поступово були замінені вторинними комплексами чагарників, відомими як garrigue або phrygana. Рослинні угруповання з подібною складовою розвивалися на півночі, на Балканах і в Східній Європі в середніх широтах, в більш помірних, хоча і в помірно континентальних кліматичних умовах (сербський шибляк і чагарникові угруповання Crataego-Prunetea з колючою мантією). Ці теплі сухі чагарники утворюють домінуючі рослинні комплекси на багатьох вапнякових карстових високогір'ях. За межами Європи спостерігаються подібні, але новіші тенденції. На Мадагаскарі вирубка місцевих лісів для перетворення на сільськогосподарські угіддя становила серйозну загрозу для ендемічної фауни печерних потоків через швидкі зміни у трофічних основах харчових мереж, що спричинило серйозні втрати біорізноманіття. У деяких карстових регіонах південно-східної Азії вирубка місцевих лісів і їх заміна плантаціями пальм викликає особливе занепокоєння. Ті карстові території, які залишаються в принципово природному стані, підтримують багате біорізноманіття порівняно з прилеглими літологіями. Це біорізноманіття частково підтримувалося завдяки традиційній практиці місцевих громад, але може бути швидко знищено через комерційну діяльність. На відміну від прямого впливу на карстове біорізноманіття, вплив сільського та лісового господарства на карстову геоспадщину є значною мірою непрямим, і він пов'язаний насамперед зі змінами якості та кількості води.

### *Агротехніка на карстових ґрунтах*

Сільське господарство на карстових територіях часто було складним для сільських громад, і їхні спроби вирішити такі проблеми, як нестача води, зазвичай впливали на карстові системи. У деяких частинах Європи у відповідь на місцевий клімат і сільськогосподарські підходи розвинувся особливий тип ландшафту, який іноді називають «агрокарстом».

Сільськогосподарська практика на карсті, як і сам карст, значною мірою залежить або контролюється кліматом, і можна виділити три широкі зони:

- Вологі тропічні території з інтенсивним сільським господарством (рис, цукрова тростина), які зазвичай мають вражаючі карстові пейзажі (наприклад, Південно-Східна Азія).
- Помірні карстові регіони зі змішаним сільським господарством, що базується переважно на зернових культурах (особливо пшениці та кукурудзі), овочах, а в теплій помірній зоні — на виноградниках або оливкових деревах. Тваринництво/розведення худоби також може мати важливий вплив на якість і кількість води в карсті.
- Холодні середовища у високих широтах або на висоті, де домінують тваринницькі та/або терасові культури, які часто використовуються для власного існування.

У турмкарстак та кокпітах південно-східної Азії багато традиційних звичаїв пов'язані із сільським господарством, наприклад, у Фенлінг-Фенконг провінцій Юньнань, Гуйчжоу та Гуансі на південному заході Китаю, кокпітах Бохолу на Філіппінах або Гунунг Севу (Індонезія). Протягом тривалого часу громади формували терасові пагорби та гори, щоб зменшити схили та утримувати дощову воду під час вологого сезону. Сільське господарство з вологим рисом у Бохолі, Філіппіни, є прикладом гармонійної інтеграції між карстовим ландшафтом і сільськогосподарською практикою, мабуть, досягнувши стійкості в столітньому масштабі. Сезонний календар, який протягом століть використовувався місцевими громадами з метою пристосування місцевих сільськогосподарських потреб до кліматичних змін, здається, найкраще відповідає природній регулятивній системі нижнього карсту. На жаль, занепад іригаційних систем викликав соціально-екологічні зміни (заміна посівів вологого рису на менш економічно цінну сільськогосподарську систему на основі кукурудзи) із серйозними наслідками для «вологих» низинних карстових територій. Навпаки, історичне заселення карсту в південно-західному Китаї (один із найбільших суцільних карстів у світі) призвело до значної втрати рослинного покриву

та ерозії ґрунту через сільськогосподарське використання, пов'язані з цим деградацію лісу та збільшення споживання води.



*Інтенсивне сільське господарство на дні великої западини в карсті Ван Фенлінь, Гуйчжоу, Китай. Відбулося значне вирубування веж на задньому плані, хоча деякі ділянки лісу залишилися. Фото Джона Ганна.*

У помірних зонах пологі плато, порізані долинами, утворюють загальний карстовий рельєф, який на найбільш розвинутій стадії призводить до полігонального карсту. Там, де цей ландшафт спочатку був вкритий густою, старою лісовою рослинністю, долини можуть служити рефугіумом для видів судинних рослин, що важливо для цілей збереження в поточному контексті глобального потепління. У цих районах видалення лісу зазвичай призводить до переміщення осаду до нижніх частин долин із наступними змінами гідрологічного режиму, як це спостерігається в карсті Кінг-Кантрі (Нова Зеландія). Лінії зазвичай навмисно заповнюються, намагаючись збільшити площу рівної землі. Карени можуть бути знищені з подібних причин, і вони також можуть бути видобуті для місцевого будівництва стін або, в деяких районах, для декоративного каменю. Кожна з цих дій може спровокувати серйозні зміни у функціональності підземних геоекосистем.

Сільське господарство пов'язане з історичним вирубуванням лісів, ерозією ґрунту та наступними більш високими рівнями зміни опадів, а також змінами в моделях використання ресурсів живлення у поверхневих і підповерхневих потоках. Вони діють як основні стресори для популяції безхребетних у печерних потоках. Наприклад, осад, що потрапляє в печеру, буде відкладатися в областях з меншою швидкістю, таким чином змінюючи середовище існування. Надходження відкладень також може порушити гідравліку каналів, особливо там, де вони накопичуються у фреатичних петлях. Органічне забруднення змінює структуру співтовариства печерної біоти та загалом призводить до зменшення її поширення та багатства. Розчинена органічна речовина та біоплівки на гальці є важливими джерелами енергії для струмків. Інші антропогенні стресори впливають на метаболізм підземних організмів і включають метали та металоїди, пестициди, добрива, нові забруднювачі та летючі органічні сполуки. Звичайними джерелами забруднення є добрива та гній, що вносяться під польові культури, гноєховища, кормівниці, доїльні приміщення, пташники та свинарники та стайні. Коксон (1999) наводить приклади сільськогосподарських впливів і пояснює вирішальну роль карстових водоносних горизонтів у передачі агрохімікатів і патогенних організмів до джерел. Ця діяльність відчувається не тільки підземними організмами, але й може безпосередньо впливати на здоров'я людини. Наприклад, у районі Вайтомо в Новій Зеландії відходи свинарства, скинуті в долину, забруднили джерело, яке постачало воду на ферму. В Ірландії карстове джерело, яке постачало воду в місто Каслісленд, довелося вивести з експлуатації через забруднення шламом та іншими речовинами, що виробляються на фермах. Один із найсерйозніших і добре задокументованих впливів сільськогосподарського забруднення на карст стався у травні 2000 року, коли муніципальні колодязі у Волкертоні (Канада), були забруднені патогенними бактеріями, що призвело до семи летальних випадків і захворювань понад 2300 людей.



*Вапнякова бруківка Шешімор у Глобальному геопарку ЮНЕСКО Беррен і скелі Мохер, Ірландія. Аналіз пилку показує, що ця територія мала товстий мінеральний ґрунт і була покрита лісом у доісторичні часи. Вирубка лісів супроводжувалася катастрофічною ерозією ґрунту, процесом, який зараз зазвичай називають скелястим опустелюванням. Фото Джона Ганна.*

Більшість забруднень генерується локальним поповненням і, отже, може бути зведено до мінімуму, якщо 1) прямий скид сільськогосподарського стоку в зони концентрованого поповнення, такі як водотоки, долини чи інші природні отвори, не дозволено, і 2) встановлено буферні зони навколо цих областей. У буферних зонах не можна допускати оранку або випасання худоби, і слід підтримувати повний рослинний покрив, щоб відфільтрувати будь-який осад, що стікає з орної землі. Особлива обережність потрібна в районах, де є лише тонкий покрив ґрунту над карстом, як це було у Волкертоні.

Зміна сільськогосподарського землекористування може зменшити концентрацію вуглекислого газу в ґрунті, що, у свою чергу, вплине на швидкість розчинення в епікарсті та потенційно на утворення спелеотемів. Концентрації CO<sub>2</sub> у ґрунті зазвичай значно вищі під місцевим лісом, наприклад, ніж під луками, а пасовища зазвичай мають вищі концентрації, ніж землі під посівами. Одним із наслідків останнього є те, що дослідження показали, що концентрацію CO<sub>2</sub> у ґрунті можна швидко підвищити шляхом перетворення ріллі на пасовища. Це може стати хорошим практичним застосуванням для деградованих карстових територій. Зменшення ґрунтового покриву через ерозію призведе до більш швидкої інфільтрації, особливо після інтенсивних опадів, і там, де це відбувається над печерою, ненасичені води, які швидко поповнюються, можуть повторно розчинити спелеотеми.



*Сезонно оброблена земля в Cerkljano polje, Словенія. Фото Девіда Гіллісона.*

### *Лісове господарство на карсті*

Ліси є добре утвореною формою природної рослинності, що розвивалася протягом тривалого часу, необхідною для регулювання та функціонування карстових систем. У карстових регіонах ліси є важливою складовою біогеохімічного циклу. Для сталого управління лісовими карстовими територіями необхідно враховувати деякі принципи щодо природи лісів і мінливості вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) у ґрунті. Після океанів ґрунт є другим за величиною поглиначем вуглецю на Землі. Лісова рослинність і ґрунт є як накопичувачами вуглецю, так і поглиначами вуглецю, тобто вони можуть захоплювати CO<sub>2</sub> з повітря та зберігати його, а також поступово вивільняти. Частина цього CO<sub>2</sub> розчиняється у воді, яка просочується у вапняк, спричиняючи його вивітрювання та, зрештою, утворення підповерхневих отворів і печер. Таким чином, запаси вуглецю карстової системи є вирішальними для її функціонування, і в кожній карстовій зоні чи басейні досягається певний баланс між рослинністю, ґрунтом, гірськими породами та ґрунтовими водами. Зміна землекористування чи рослинності змінить цей баланс, а зміна клімату є ще одним фактором, що впливає на доступність води та активність рослинності. Додатковий вуглець поглинається ґрунтом під лісовою рослинністю, сприяючи подальше розчинення вапняку, причому частина розчинених карбонатних іонів зрештою осідає у вигляді росту спелеотемів. Ці хімічні відкладення, які зазвичай утворюються в печерах внаслідок випадання кальциту, вимагають більш тривалого часу для утворення інфільтраційної води та низької швидкості крапель. Ці умови зазвичай зустрічаються в помірно тріщинистих корінних породах з невеликими отворами, які рівномірно ведуть і розподіляють воду, що просочується, у великі порожнини. Коріння дерев вдихають у ґрунт більше CO<sub>2</sub>, таким чином сприяючи вивітрюванню гірських порід, а також закарбовуючи особливий малюнок в епікарсті (найвищому гідрологічному рівні карстової системи) шляхом розтріскування корінної породи під час їх росту. Діяльність ґрунтової мікробіоти дуже важлива для регулювання вуглецевого циклу, оскільки вона вивільняє накопичений CO<sub>2</sub> із ґрунту назад в атмосферу. Вуглець, що виділяється з вивітрювання вапняку, зрештою потрапляє в океан через ґрунтові води та річки, хоча невідома частина втрачається в атмосферу через ґрунт або шляхом прямої дегазації з ґрунтових вод. Загалом, вивітрювання вапняку зазвичай вважається поглиначем вуглецю через «супутнє карбонатне вивітрювання», однак це не завжди так, і ефективність процесу, ймовірно, буде різною в окремій області чи певному басейні.

Лісове господарство є важливим видом землекористування зі своїми проблемами. Старі ліси зазвичай класифікуються як клімаксові угруповання, дуже стабільні завдяки їх довготривалій безперешкодній еволюції. Деякі з цих лісів займають віддалені карстові місцевості в гірських або тропічних районах, але можуть опинитися під загрозою через постійне розширення людського середовища проживання, туризму або видобутку деревини. Ці ліси потребують суворої охорони, і вони не повинні піддаватися будь-якій формі експлуатації людиною. Практика лісового господарства передбачає будівництво доріг (що супроводжується рубкою схилів), рубку, вирощування сіянців і пересадку дерев, а також різноманітні заходи після рубки. Вирубка лісів залишає землю тимчасово або назавжди позбавленою захисту, який

забезпечує стабільний рослинний покрив, що означає раптову зміну балансу всієї природної системи. Швидкі зміни відбуваються незабаром після вирубки лісу, що призводить до збільшення інфільтрації опадів, збільшення рівня азоту внаслідок розкладання залишків деревини та початку ерозії ґрунту. Ерозія ґрунту викликає подальші зміни епікарстової картини та зменшення поглинання CO<sub>2</sub> з негативними наслідками для балансу карстової системи.

Вирубка — не єдина загроза цілісності карстового середовища. Інтродукція чужорідних, більш економічно продуктивних порід дерев у добре сформовані лісові середовища існування, створені на карсту, і часто зміна основного типу лісу (наприклад, хвойний замість листяного лісу та плантації олійної пальми замість тропічного лісу) може призвести до значного гідрологічного та хімічного дисбалансу карстових вод, підвищеній кислотності ґрунту, прискореній корозії корінних порід та деградації спелеотемів. Спричинені людиною пожежі в лісах або на прилеглих до лісів пасовищах, якщо не обмежуватися інтенсивністю, тривалістю та масштабом тих природних пожеж на карстових територіях, мають довгострокові негативні наслідки, які здебільшого складаються з кальцинації та розколювання поверхонь корінних порід; підвищеної концентрації розчинених неорганічних сполук у підземних водах; змін хімічного складу підземних вод та їх гідрологічного режиму.



*Лісистий карст у Словенії. Фото Джона Ганна.*

Фундаментальною для лісозаготівельної або лісгосподарської діяльності на карстових територіях є необхідність ретельної оцінки цінностей і чутливості поверхневого карсту та його зв'язку (або відкритості) з надрами. Перед початком лісгосподарської діяльності потрібна методологія для інвентаризації та картографування карстової території, оцінки її



чутливості до змін (або вразливості) та розробки відповідних рецептів управління. Слід звернути увагу на аналіз типу та масштабів лісогосподарської діяльності в межах карстового водозбору.



*Лісогосподарська діяльність може відбуватися з впливом на цілісність карстових ландшафтів з долинами (карстовими воронками). Будівництво доріг і заготівля деревини суцільними рубками видаляють лісову рослинність, що виникла природним шляхом. Природні лісові зони зазвичай замінюються одновіковими насадженнями в «плантаційних лісах». Лінії без відповідних буферів можуть бути заповнені лісорубним сміттям, а їхні крутіші внутрішні схили дестабілізовані. Озеро Бонанза, острів Ванкувер. Фото Пола Гриффітса.*

## Тези

- (39) АСільськогосподарська діяльність може негативно впливати на карстові геоекосистеми. Адміністрація природоохоронних територій повинна приділяти особливу увагу будь-яким запропонованим змінам у землекористуванні та надавати вказівки, що відповідають типу землеробства та конкретним умовам на землі в цілях мінімізації впливу на кількість і якість води.
- (40) Що стосується землекористування, орні землі потребують ретельного керування ґрунтом, щоб мінімізувати ерозію та зміну властивостей ґрунту (аерація, агрегатна стабільність і вміст органічної речовини) і підтримувати здорову ґрунтову біоту. Пасовищами слід керувати так, щоб підтримувати рослинний покрив, особливо увагу слід приділяти рівням поголов'я. Оскільки водосховища забезпечують локальне живлення, їх слід залишити в природному стані і ніколи не заповнювати або використовувати для утилізації відходів.
- (41) Там, де це можливо, буферні зони мають встановлюватися навколо ділянок зосередженого живлення, таких як водотоки, долини або інші природні отвори, оскільки вони є каналами для переміщення забруднювачів і токсичних речовин у підповерхневе карстове середовище. На сільськогосподарських угіддях забороняється оранка в буферних зонах; слід підтримувати повний рослинний покрив для фільтрації будь-якого осаду у стоках з орної землі. Збереження та потенційне зміцнення місцевої рослинності у буферних лісових зонах має вирішальне значення.
- (42) Що стосується кількості води, слід контролювати кількість підземних вод, що вилучаються для ірригації. Доцільніше використовувати збір дощової води.
- (43) Стосовно якості води, використання пестицидів і гербіцидів не слід заохочувати, за винятком випадків, коли є нагальна потреба для боротьби зі шкідниками та бур'янами. Необхідно мінімізувати використання добрив

*і, де можливо, використовувати натуральні добрива. Буферні зони навколо ділянок зосередженого живлення повинні бути дотримані, а застосування хімікатів не повинно відбуватися в періоди, коли ґрунти насичені або близькі до насичених, і при цьому наявний ризик наземного потоку змивних хімікатів у карст.*

- (44) Перед будь-якими лісозаготовчими або лісогосподарськими діями на карстових територіях необхідна процедура інвентаризації та топозйомка карстової зони, оцінка її вразливості, розробки відповідних рекомендацій адміністрування. Необхідно розглянути попередній аналіз типу та масштабів лісогосподарської діяльності в межах конкретного карстового басейну, а також подальший моніторинг для впевненості, що рекомендації виконувалися, а вразливі карстові території захищені.*
- (45) Природні ліси, які утворилися на карстових територіях, в тому числі дорослі дерева та зарості, не повинні бути суцільно вирубані або піддаватися будь-якому впливу людини. Замість цього ці ліси мають знаходитися під суворим захистом шляхом належного природоохоронного адміністрування, щоб поверхневі та підземні карстові середовища продовжували користуватися перевагами екосистемних послуг.*
- (46) На територіях, де місцеві ліси були вирубані та замінені іншими породами, адміністративні органи повинні планувати заміну екзотичних видів на тип лісу, який найкраще адаптований до екологічних умов ділянки.*



*Видалення природної лісової рослинності суцільною рубкою з подальшою лісовою пожежею може спричинити значну ерозію ґрунту, що нагадує «скелясте опустелювання», яке спостерігається в деяких регіонах Південно-Китайського Карсту та Динарського Карсту. Така деградація карстових ландшафтів може змінити гідрологічні надходження, а також призвести до втрати середовища існування та зменшення біорізноманіття. Пожежа викликає кальцинацію та руйнування (наприклад, відколювання) верхніх поверхонь корінних порід епікарсту. Карст Кінман-Крік, острів Ванкувер. Фото Пола Гриффітса.*



*Суцільна вирубка природних лісів у карстових районах із тонким ґрунтом може призвести до серйозних втрат ґрунту під дією гравітації у з'єднаннях, збільшених тріщинах та інших отворах у корінних породах. Рекомендоване спалювання та/або лісова пожежа може погіршити ці наслідки рубки. Раніше покриті ґрунтом карнові форми з глибокими борозенками оголюються. Карст річки Тахсіш, острів Ванкувер. Фото Пола Гриффітса*

## Видобувна промисловість

Примітка щодо термінології. Терміни «шахта» і «кар'єр» використовуються для опису місця, з якого видобувають камінь або мінерали. Деякі автори використовують термін «кар'єр», де видобувається камінь, і «шахта» для видобутку інших корисних копалин, але використання непослідовне. У кожному разі видобуток може відбуватися на поверхні, і в цьому випадку перед ним іноді використовується слово «відкритий», наприклад, «відкритий кар'єр» або «відкрита шахта», або з-під поверхні. У цьому документі ми використовуємо термін «кар'єр» для наземних розкопок і «шахта» для підземних виробок.

Печери та карстові території містять поклади корисних копалин, які використовувалися людьми ще з так званого «кам'яного віку». Вапняк, найпоширеніша гірська порода, на якій зустрічаються карстові форми рельєфу, тисячоліттями використовувався як будівельний камінь. До 21-го століття нашої ери він став одним із найбільш використовуваних матеріалів у світі, в тому числі в будівництві як цемент і як заповнювач, зокрема в бетоні; в хіміко-фармацевтичній промисловості; у виробництві паперу та целюлози; у сільському господарстві як вапно; у виробництві чавуну та сталі; як мірний камінь і декоративні породи; і в різноманітних екологічних процесах, включаючи десульфурізацію димових газів. Доломіт зазвичай використовується як добриво. Некарбонатні породи, що утворюють карст, мають також практичне застосування. Гіпс широко використовується в добривах і в будівельній промисловості; сіль знаходить багато застосувань у харчовій та хімічній промисловості; утворення заліза необхідні для виробництва сталі та чавуну; а кварцит — поширений декоративний камінь. Тому не дивно, що видобувна промисловість має потенціал для впливу на печерну та карстову геоспадщину та екосистеми.

Окрім корінних порід, кілька економічно важливих родовищ зазвичай пов'язані з карстовими областями. Деякі мінерали, зокрема ті, що містять цинк, свинець і срібло, а також флюорит, барит і апатит, серед іншого, заповнюють зруйновані структури або жили в карбонатних товщах, іноді пов'язані з давніми особливостями розчинення, які називають «палеокарстом». Іноді цінні мінерали випадково перехоплюються печерами, як це може бути у випадку з

мінералізованими жилами або стиками, що полегшує доступ до місця видобутку. Мінерали економічного значення можуть зосереджуватися в карстових западинах або бути змитими в печери. У центральній Бразилії алмази з конгломератів видобували всередині кварцитових печер, що вимагало будівництва кам'яних стін і модифікації печерних проходів. У всьому світі приблизно 60% усіх запасів нафти та 40% усіх запасів газу містяться в карбонатних породах, пов'язаних переважно з вторинними пористими структурами, такими як горизонти з високою проникністю та ізольовані порожнини (у нафтовій літературі їх називають «кавернами»).

Існують деякі мінерали, які, хоча й не містяться в карстових породах, можуть мати свій генезис, принаймні частково, внаслідок карстових процесів. Такий випадок з бокситами, багатими на алюміній залишками вивітрювання, які зазвичай асоціюються з карстовими породами. Надмірне використання підземних вод (іноді його називають «видобутком води»),

хоча і не характерно для карстових територій, можна розглядати як форму видобувної діяльності, особливо якщо викачування води перевищує поповнення. Це часто буває у великих схемах зневоднення шахт.



*Видобутий кокпіт і частково зруйнована печера, Таїланд. Фото Джона Ганна.*

Останньою категорією мінералів, пов'язаних з печерами, є хімічні або органічні відкладення, що утворюються в сухих проходах. Селітра — багате нітратами ґрунтове відкладення, яке зазвичай зустрічається в печерах у всьому світі і раніше широко використовувався як основний інгредієнт для виготовлення пороху, переважно протягом 18-19 століть нашої ери. Гуано, багаті органікою екскременти птахів і кажанів, широко видобували в Америці, Південно-Східній Азії та Австралії протягом 19 століття нашої ери для виробництва добрив. Печери у Карлових Варах були одним із таких місць. Сьогодні в тропіках поширений видобуток гуано місцевими фермерами. Це далеко не відновлювана діяльність – вона повністю руйнує важливі палеоекологічні архіви та дуже шкодить спільнотам безхребетних, які залежать від гуано. Донині пташині

гнізда, створені зі слини стрижив, легально збирають у печерах Малайзії та Таїланду, щоб продати їх як дорогий гастрономічний делікатес.

Корисні копалини, пов'язані з карстом, видобуваються з доісторичних часів. У кам'яновугільних вапняках поблизу Лландіно (Великобританія), мідні копальні налічують близько 4000 років тому, а мумії в печерах свідчать про видатні подвиги корінних американців, які пройшли кілометри печерних проходів у Мамонтовій печері (США), щоб збирати гіпс і кремій за допомогою рудиментарних факелів. Подібним чином корінні австралійці домовилися про 1000м проходу для видобутку кременю в печері Куналда (Налларбор). Видобуток вапняку або травертину для будівельних цілей триває тисячоліттями, особливо в багатому карстом середземноморському регіоні. Пов'язане з «відкриттям» європейцями Америки та Австралії, економічне значення карстових родовищ призвело до буму промисловості гуано-добрив і великомасштабного видобутку селітри в печерах, яка в США була важливою для виробництва порошу під час громадянської війни 1860-х років. З часів промислової революції зріс попит на кілька корисних копалин, пов'язаних з карстом.

Вплив видобувних галузей на навколишнє середовище значно відрізняється залежно від видів діяльності, типу родовища та техніки видобутку, а також економічних факторів. Карбонатні породи складають приблизно 15% континентальної поверхні Землі, тому ринкова ціна нижча, ніж менш поширені мінерали. Однак попит на карбонати постійно зростає, а камінь високої чистоти, який використовується у фармацевтичній та хімічній промисловості, має вищу ціну. Видобуток інших корисних копалин, що містяться в карстових породах, також обумовлений економічними факторами, коли ціни на мінеральні товари широко коливаються відповідно до попиту. Один із циклів підвищеного попиту пов'язаний із швидким зростанням китайського ринку з кінця 2000-х років і стосується неблагородних металів, таких як залізо. Ціни на інші важливі метали зросли через швидке зростання сектору відновлюваної енергетики, причому літій, нікель і кобальт необхідні для виробництва акумуляторів для електромобілів. Ці економічні мегацикли підживлюють глобальну гірничодобувну промисловість і збільшують тиск на те, щоб видобуток корисних копалин відбувався в захищених зонах або поблизу них. Це особлива проблема для країн, що розвиваються, де високий попит і, як наслідок, високі ціни на ці метали зробили їх стратегічними товарами.

### *Видобуток карбонатних порід*

Деякі родовища вапняку або доломіту дуже високої чистоти розроблялися за допомогою підземних шахт, але в усьому світі переважна більшість каменю видобувається з відкритих кар'єрів. У розвинених країнах перші кар'єри були невеликими місцевими підприємствами, однак більшість каменю зараз видобувається з невеликої кількості великих кар'єрів, зазвичай розташованих на схилах пагорбів або на схилах долин. Багато з цих кар'єрів працювали десятиліттями, і оскільки дозвіл на нові ділянки зазвичай важко отримати, оператори існуючих ділянок прагнуть розширити або піти глибше. Особливою проблемою для керівників охоронюваних територій є те, що об'єкти могли діяти в охоронюваній території або на її межі до того, як вона була призначена, як це має місце в національному парку Пік-Дистрикт, Англія.

У країнах, що розвиваються, і особливо в тропічних районах, все ще існує багато невеликих вапнякових кар'єрів, і вони можуть бути особливо проблематичними в районах конічного карсту або баштового карсту, де відносно невеликий кар'єр може видалити цілий пагорб, який може містити ендемічні види. У таких ситуаціях розробка великого кар'єру за межами охоронюваної території та закриття невеликих кар'єрів, ймовірно, значно зменшить вплив, особливо якщо на більшій території вимагаються більш високі екологічні стандарти.

### *Видобуток залізомістких формацій*

На відміну від карбонатних порід, які виростають на великих територіях, залізні утворення є значно менш поширеними породами, утвореними внаслідок певних геологічних подій, які відбулися понад мільярд років тому. Оскільки висока концентрація заліза зумовлена вилугуванням кремнезему та активізацією заліза (ті самі процеси, які створюють порожнини та печери), більшість високоякісних рудних тіл пов'язані з печерами. Ці породи користуються високим економічним попитом, і в Бразилії значну частину відслонень залізної формації вже видобуто, а багато територій, що залишилися, включено в майбутні плани видобутку. Хоча це правда, що більшість шахт призводять до локалізованого впливу через невеликий відносний розмір, навіть найбільші шахти, зазвичай є промислові підприємства, пов'язані з ділянкою, окрім розгалуженого ланцюга постачальників, що сприяє швидкому розвитку міст, що призводить до значного впливу на більшій території. У Карахасі, бразильська Амазонія, найбільше у світі родовище заліза було виявлено лише в 1967 році. Воно розташоване на залізних плато, які містять понад 2000 печер. Спочатку ця територія мала низьку щільність населення, переважно індіанськими племенами, які жили в незайманих тропічних лісах Амазонки. Видобуток

почався кількома роками пізніше, і до 2020 року понад 300 000 людей жили поблизу в нових містах, які підтримувалися видобутком.

### *Вплив видобувної промисловості*

Як зазначалося у вступі, камінь і мінерали можна видобувати в кар'єрах або підземних шахтах. Вплив цих двох форм видобутку, як правило, дуже різний, особливо на охоронюваних територіях, і тому нижче ця тема розглядається окремо.

### *Вплив видобутку в кар'єрах*

Кар'єри мають два типи впливу; по-перше, прямий вплив на ділянку та, по-друге, непрямий вплив на ширшу територію. Перший вплив на ділянку є наслідком видалення будь-якого верхнього ґрунту та поверхневих відкладень, щоб оголити породу, яку планується видобути. Якщо ця порода є карбонатом, зникнення ґрунту призводить до негайної втрати більшої частини вуглекислого газу, який приводить у дію процес розчинення, оскільки він утворюється в зоні ґрунту. Після видалення будь-якого ґрунту та поверхневих відкладень першою видаляється порода з епікарсту, регіону, де відбувається більша частина розчинення. Видалення цієї породи безпосередньо вплине на розчинення і, отже, на кількість карбонату кальцію, що надходить до джерел, басейн яких включає кар'єр. Наприклад, у Форест-оф-Дін (Великобританія) є вапняковий кар'єр у водозборі джерел, які охороняються, оскільки містять туф. Джерела контролюються, щоб визначити, чи розробка кар'єрів зменшує джерельне карбонатне навантаження та чи впливає на відкладення туфу.

Відносно низька цінність карбонатної породи означає, що під товстими розкритими породами розробляється небагато кар'єрів, але це не так, коли кар'єр видобуває більш цінний мінерал. У цьому випадку матеріал, який не має економічної цінності (розкриті породи або вміщуюча порода корисної копалини, що цікавить), відкладається у хвостосховищах або у вигляді відвалів, що може мати більш несприятливий вплив на навколишнє середовище, ніж кар'єр.

Старі кар'єри зазвичай розташовувалися на схилах пагорбів або долин, оскільки легше видобувати камінь збоку, ніж йти вглиб. Це призводить до модифікації рельєфу поверхні або повного руйнування, що викликає особливе занепокоєння в районах кокпітів або турмкарсту, де кар'єрна робота може повністю видалити пагорб. На додаток до очевидної втрати геоспадщини, багато пагорбів у тропічних районах є притулками кажанів і містять рідкісні види, деякі з них можуть бути ендеміками одного турмкарсту.

У міру того, як кар'єри розширюються вбік або вертикально, існує підвищена можливість перетину елементів карстової дренажної системи (труб) або печер. Якщо кар'єр має дозвіл від відповідних органів влади, немає механізму запобігання руйнуванню печер, однак дозволи повинні включати вимогу щодо наукової реєстрації морфології печер і відкладень. У деяких країнах існує законодавство, яке вимагає компенсації за знищення печер. У Бразилії, наприклад, знищення будь-якої печери, не класифікованої як надзвичайно важлива, було дозволено законом за умови, що знищення компенсується грошовою виплатою або постійним збереженням іншої печери чи печер. Це призвело до створення значних заповідних територій - нові національні парки, які захищають важливі карстові території та печери. Однак встановлення ціни на печери в якості стратегії збереження не позбавлене ризику, оскільки ціна зазвичай прив'язана до державних економічних індексів, тоді як ціни на руду дуже різняться. Під час товарного буму металу, який переважає з 2000-х років, витрати, пов'язані з руйнуванням печер, можна вважати ціною, яку варто заплатити, якщо порівнювати їх зі значно вищими фінансовими ресурсами, необхідними для відкриття та експлуатації кар'єрів. Крім того, вартість мінеральних запасів, заблокованих будь-якою печерою, зазвичай перевищує ціну, яку потрібно заплатити за знищення печери. На початку 2020 року загальний незворотний вплив у Бразилії може сягнути 1 мільйона доларів США на печеру.

Коли кар'єр або частина кар'єру досягає точки, звідки камінь більше не видобуватиметься, з'являється можливість для відновлення, яка становить особливу цінність, якщо кар'єри знаходяться в межах охоронюваної території. Однією з можливостей може бути будівництво нового епікарсту, що складається з будь-яких відходів вапняку, розкиданого на дні кар'єру (який, можливо, потребуватиме розкопування для покращення інфільтрації) і покритого ґрунтовим матеріалом або дрібним вапняком (3 мм до пилу) з органічним меліорантом. На околицях кар'єру техніка відтворення рельєфу спрямована на створення рельєфних форм, подібних до тих, які зустрічаються в природному карсті за межами кар'єрної території, наприклад, скельні контрфорси, головні стіни та осипи.

Вплив за межами території кар'єру пов'язаний насамперед з вибуховими роботами та водою, і в обох випадках існує ймовірність того, що кар'єр за межами охоронюваної зони матиме вплив всередині цієї ж зони. Вплив вибуху є складним і пов'язується з проектом, виконанням вибуху та з геологією. Існують приклади печер, пересічених кар'єрами, у яких не було пошкоджено морфологію проходу чи спелеотемів, а також інші приклади, коли пошкоджено печери за кілька

сотень метрів від кар'єру. Додатковим міркуванням є вплив шуму та вібрації на печерну фауну, який погано вивчений. Незважаючи на ці фактори, очевидно, що вплив можна мінімізувати за допомогою сучасної конструкції вибуху, в якій кількість вибухівки та її положення в кожній свердловині ретельно розраховуються, а затримки в мілісекундах використовуються для зменшення вібрації та надлишкового тиску повітря. Додатковим міркуванням є те, що в минулому найпоширенішою вибухівкою був ANFO (нітрат амонію та мазут), змішаний у свердловині або навіть у свердловині. Це створює ризик тривалого забруднення DNAPL (щільна рідина неводної фази). Сучасні вибухові роботи використовують попередньо змішані ANFO, зазвичай з емульсійними вибуховими речовинами. Однак зберігання мазуту створює потенціал для викиду в карст. Неправильне поводження з аміачною селітрою також може призвести до забруднення ґрунтових вод нітратами. Обидва продукти, які використовуються для створення ANFO, зазвичай зберігаються та змішуються в кар'єрі перед використанням.



*Забій кар'єру в Лагоа-Санта-Карст, Бразилія, демонструє вершини підґрунтя. Фото Августо Аулера.*

Гідрологічний вплив кар'єрів пов'язаний з тим, що вода надходить на ділянку або витікає з неї. Як і під час вибуху, важливо ретельно оцінити гідрогеологічний контекст. Вода може потрапляти в кар'єр поверхневим потоком або перетинати основні шляхи потоку підземних вод. Поверхневі потоки потребують довгострокового планування, щоб керувати водою, що збирається з дренажних басейнів у результаті розширення кар'єру, що може порушити роботу кар'єру. Стік ґрунтових вод у кар'єр може сильно відрізнятись. Деякі кар'єри закриті через затоплення ґрунтовими водами, тоді як інші простягаються на глибину понад 100м нижче початкової поверхні суші, але мають незначний бічний приплив. Там, де кар'єр захоплює ґрунтові води з більшої території, це може супроводжуватися розвитком долин просідання (випадіння або суфозія), і вони можуть бути на кілька сотень метрів за межами кар'єру. Усі надходження в кар'єр потенційно можуть посилити активізацію забруднюючих речовин у кар'єрі та транспортувати їх до колодязів і джерел.

Гідрологічний вплив води, що виходить із кар'єру, залежить від того, чи вода витікає на поверхню, чи викачується з водоносного горизонту. Сухопутні потоки з кар'єрів часто містять високий рівень мулу, який може засмічувати карстові водоносні горизонти живлення або змінити та пошкодити потоки і середовища існування. Забруднювачі від кар'єрних робіт переносяться поверхневими потоками і часто прилипають до мулу. Такі впливи можна зменшити шляхом спрямування води в басейни відкладень, які повинні мати здатність витримувати повені з ймовірністю щонайменше 100 років. Якщо високий рівень забруднювачів накопичується в осадах, їх необхідно видалити та утилізувати на відповідному спроектованому звалищі. Впливи на водоносні горизонти виникають там, де необхідно відкачати воду з кар'єру, щоб знизити рівень ґрунтових вод і забезпечити роботу кар'єру. Зневоднення кар'єру підвищує ризик ініціювання розробки долин, що може завдати шкоди людській інфраструктурі. Він також може зменшити або зупинити потік карстових джерел



і колодязів. І навпаки, режим потоків, які отримують воду, що перекачується, змінюється зі збільшенням як загального стоку, так і величини піків паводку.

Кар'єрний пил від гірничодобувної діяльності та дроблення гірської породи може збільшити навантаження осадових, коли він вимивається в карстові елементи, і, отже, порушує гідравліку провідності та осадження в поверхневих потоках. Боротьба з пилом є постійною проблемою багатьох кар'єрів і може призвести до масового забруднення повітря дрібними частинками. Після того, як термін служби кар'єру вичерпано, виникають довгострокові проблеми, пов'язані з управлінням об'єктом, щоб переконатися, що воно не призведе до впливу на підземні води через незаконне захоронення побутових і промислових відходів. Деякі уряди вимагають план рекультивації та гарантії фінансових результатів для кар'єрів і шахт. Землекористування після припинення роботи кар'єру може також потребувати регулювання щодо розробки.

Зазвичай існує презумпція проти будь-яких нових кар'єрів або розширення кар'єрів на території, що охороняється, тому важливо, щоб будь-яка заявка була ретельно розглянута з точки зору доказів впливу та потенційного впливу, якщо камінь замість цього видобувається в іншому місці. Якщо кар'єр перетнув і знищив печерні проходи або є докази швидкого гідрологічного зв'язку з джерелами, то це є хорошою основою для протидії подальшому розширенню. Однак в інших ситуаціях поглиблення або розширення площі існуючого кар'єру може не призвести до будь-яких нових впливів на карстові форми рельєфу та гідрологію і може бути кращим, ніж відкриття нової ділянки. Там, де поглиблення потребує зневоднення, це викликає додаткові питання, і в усіх випадках заявки повинні надавати вагомі докази того, що не буде негативного впливу на охоронювані території, а також колодязі та джерела, які є важливими джерелами води для людини та довкілля.

## Вплив шахт

Поверхневий вплив підземних шахт обмежується територією навколо входу (входів), які ведуть у шахту, разом із будь-якими зонами, де обробляються корисні копалини або утилізуються залишки. Жодна нова шахта не повинна розташовуватися всередині охоронюваної території, якщо тільки не можуть бути зроблені дуже вагомі стратегічні аргументи, а зони обробки та насипи відходів повинні бути далеко за межами охоронюваної території. Однак можна видобувати корисні копалини з-під захищеної території, використовуючи шахту (шахти) із входом за межами території. Сучасні технології видобутку мінімізують ризик обвалу в виробки, і найбільш значний вплив, ймовірно, виникне через необхідність видалення підземних вод з виробок. Одним з методів, який широко використовувався в минулому в деяких карстових районах, є прокладання дренажних штолень із глибоких долин для ефективного зниження рівня підземних вод у великому блоці. Це призводить до того, що джерела та струмки, що живляться ґрунтовими водами, втрачають течію та в деяких випадках стають повністю висихаючими, тоді як річки, що живляться штольнями, мають свій стік. Сучасні більш глибокі шахти зазвичай вимагають великомасштабних схем водовідведення, деякі з яких передбачають швидкість перекачування понад 6 м<sup>3</sup>/с. У пористих середовищах відкачування призводить до утворення конуса депресії у ґрунтових водах, але в більшості карстових порід проникність помітно анізотропна, і вплив осушення може поширюватися на багато кілометрів, особливо там, де шахти перетинають канали. Як і у випадку з дренажними штольнями, загальним впливом є втрата потоку до джерел і водотоків, що живляться підземними водами, а також збільшення потоку в річках, які отримують воду, що перекачується. Там, де основна порода перекрита більш ніж 3 м ґрунту, опускання ґрунтових вод у поверхневих відкладеннях зазвичай призводить до утворення долин осідання. Додаткові впливи стосуються змін у хімічному складі води та навантажень зваженого осаду.

Шахти та кар'єри можуть перетинати печерні проходи, що несе ризик впливу або зміни спелеоклімату, а також може призвести до втрати середовища існування зникаючих кажанів. Зусилля щодо мінімізації впливу на значні місця існування кажанів або видів, що знаходяться під загрозою зникнення, повинні бути взяті до уваги. Вапняковий кар'єр Гріп у Західній Вірджинії (США), наприклад, тісно співпрацював із спелеологами, щоб дозволити картографувати печеру Пекельна діра довжиною 50 км, розташовану поблизу кар'єру, місця гібернації для двох видів кажанів, що перебувають під загрозою зникнення.

Як і у випадку з кар'єрами, шахти мають обмежений термін служби, зазвичай не більше кількох десятиліть. У деяких випадках корисні копалини вичерпано, але зазвичай шахти залишають, оскільки вони стають нерентабельними через збільшення витрат на видобуток або зниження ринкових цін. Якщо знайдено нові способи використання корисної копалини з подальшим збільшенням вартості, може виникнути тиск з метою повторного відкриття шахт, які десятиліттями не використовувалися. У тих країнах з довгою історією розробки корисних копалин є багато шахт і гірничодобувних ділянок, які були покинуті, як правило, без жодних спроб відновлення. У деяких випадках ці місця охоронялися на знак визнання їх історичної важливості або через те, що рідкісні рослини виростили на порушених землях і пустирях. Інша місцевість створює екологічні проблеми: ерозію ґрунту, дренаж кислотних шахт і утворення провалів. Правильне закриття шахти, яке називається «виведенням з експлуатації», часто є дуже складним і дорогим процесом, і в

минулому це рідко входило в експлуатаційні витрати шахти. Були навіть спроби уникнути будь-яких витрат на виведення шахти з експлуатації шляхом так званого «стратегічного банкрутства». Виведення з експлуатації та правильне закриття шахт у карстових районах має включати довгостроковий моніторинг руху ґрунтової поверхні, якості ґрунтових вод, поверхневих і підземних екосистем.

## Підсумки

Завдання поєднати видобувну промисловість зі збереженням карсту та печер завжди є складним, оскільки воно пов'язане як з потенційним або фактичним впливом на навколишнє середовище, так і з політичними та економічними факторами, що включають зацікавлені сторони, які діють у масштабах від міжнародних до місцевих. У деяких випадках забудову було дозволено на території, що охороняється, оскільки вона вважається «відповідною національним інтересам», а також ставалися випадки, коли охорона була повністю знята, щоб дозволити забудову. Однак у 21 столітті в корпоративній індустрії все більше впроваджуються практики ESG (еколого-соціальна сфера управління), а також визнається, що неспроможність захистити важливі об'єкти може завдати шкоди репутації компанії та, зрештою, її керівникам. У 2020 році знищення важливих археологічних пам'яток у двох печерах із залізними утвореннями в Австралії викликало значний суспільний резонанс, спочатку з боку корінних жителів Австралії, а потім у всьому світі після розголосу в соціальних мережах. Тиск з боку акціонерів призвів до відставки генерального директора та кількох керівників вищої ланки, а потім відставки голови та кількох директорів. Парламентське розслідування у цій справі триває під час написання цього документа, і, сподіваємося, воно може призвести до змін у законодавстві про видобуток корисних копалин, що надасть таким об'єктам більший захист.



*Вапняковий кар'єр Даулоу в районі Пік, Великобританія. Площа кар'єру становить приблизно 0,5 км<sup>2</sup>, і в 2021 році найнижча точка була приблизно на 100 м нижче початкової поверхні землі, але жодних каналів чи печер не було перехоплено, а також немає надходження ґрунтових вод із забоїв кар'єру. Фото Тоні Марсдена.*

Більшість видобувних галузей мають високий, нестійкий вуглецевий слід. За підрахунками, наприклад, цементна промисловість, яка включає високотемпературне виділення CO<sub>2</sub>, який був заблокований під час утворення карбонатів і діагенезу, відповідає за 8% глобальних викидів парникових газів. Ще більший відсоток приписується спалюванню викопного палива (газу та нафти), видобутого з резервуарів карбонатних порід. Поки планета намагається скоротити викиди в прийнятних межах потепління, ці галузі, які вже перебувають на екологічному роздоріжжі, ймовірно, зіткнуться з важкими часами.

Хоча крихка природа карсту та печер ускладнює їхнє співіснування з видобувною діяльністю, необхідно дотримуватися балансу. Були ситуації, коли кар'єри працюють дуже близько до печер, або шахти простягаються під карстом, не створюючи помітного впливу, а також інші ситуації, коли відбувалося суцільне порушення гідрологічних систем, повне знищення геоспадщини та втрата ендемічних видів. Навряд чи можна коли-небудь досягти ідеальної рівноваги між

вигодою та втратами, однак за умови ретельної наукової оцінки, детального моніторингу та роботи з мінімальним впливом цілком можливі.

## Тези

- (47) *Повинна існувати презумпція проти нових шахт і кар'єрів у карстових територіях під охороною, якщо не буде доведено, що немає альтернативного джерела корисних копалин, які є дефіцитними та мають високу економічну чи стратегічну цінність.*
- (48) *Будь-яка ініціатива щодо нової шахти чи кар'єру в карсті має підлягати детальній екологічній оцінці, яка враховує як особливості всередині та на межі території, так і потенційні віддалені впливи через поверхневі та карстові підземні води.*
- (49) *Екологічна оцінка повинна описувати та оцінювати цінність печерних і карстових форм рельєфу та екосистем. Потрібно оцінити, чи існують альтернативні місця для видобутку, де буде менш значний вплив. Там, де немає альтернативних ділянок, де це можливо, повинна бути ретельно спроектована буферна захисна зона навколо печер з особливим статусом і карстових особливостей, щоб захистити цілісність печерної екосистеми, а також безперервність гідрологічних процесів.*
- (50) *Там, де немає альтернативи руйнівних дій, об'єкти слід зафіксувати та, у відповідних випадках, виокремити для наукового вивчення, тобто записати та виокремити спелеотем та зразок породи чи ґрунту для палеоекологічного дослідження.*
- (51) *Там, де дослідження дозволене, має бути добре розроблена система захисту навколишнього середовища, а також має бути протокол моніторингу, аби зареєструвати ефективність системи захисту й умов під час експлуатації, щоб у разі необхідності можна було вносити зміни. Також має бути детальний план закриття проєктів, який містить відповідні відновлення та довгостроковий моніторинг, а також заставу, сплачену наперед, щоб підтвердити наявність фінансування для закриття проєкту.*

## Розвиток та інфраструктура

Протягом історії люди використовували карст і печери для різних цілей. Споруди були побудовані для проживання, захисту, сільського господарства або водопостачання. У середні віки в Європі укріплення та замки будували всередині печер, як-от Пред'ямський замок у Словенії, щоб забезпечити захист і шлях для втечі через печерні проходи на випадок вторгнення. Невеликі підприємства також скористалися перевагами печер. Виготовлення мотузок відбувалося у великому вході до печери Пік, Англія, від Середньовіччя до наших днів, і хоча зараз мотузки виготовляють переважно для продажу туристам, які відвідують печеру, колись там жило невелике поселення мотузкових майстрів у печері. У Південно-Китайському карстовому об'єкті Всесвітньої спадщини все ще є невеликі помешкання біля входів у печери. Багато печер використовуються для дозрівання сиру, і знаменитий блакитний сир Рокфор може використовувати свою назву, лише якщо дозріває в печерах Комбалу у Франції. Гриби, пиво, вино, кімчі та деякі інші продукти виробляли та зберігали у багатьох країнах у печерах. Іноді при будівництві доріг використовували печерні проходи як більш зручний варіант, ніж будівництво дорогих тунелів. Дороги, що перетинають печеру Мас-Д'Азіль у Франції та частину печер Дженолан в Австралії, є хорошими прикладами. Багато карстових джерел демонструють певний тип інженерних споруд. Подальші приклади інфраструктури в печерах і карсту стосуються використання води (див. Водопостачання), розробки кар'єрів і видобутку корисних копалин (див. Видобувна промисловість), адаптації до туризму (див. Показові печери).



*Замок Пред'яма, Словенія, був побудований у вході до печери в 13 столітті нашої ери. Фото Девіда Гіллісона.*

Цілоком природно, що у міру зростання населення разом із потребою в інфраструктурі карстові території впливатимуть і потерпатимуть від впливу таких подій. Експоненціальне зростання населення, яке відбулося з 19 століття, було тісно пов'язане з промисловим розвитком і урбанізацією. Загальна кількість населення, яке проживає в карстових районах або залежить від карстових ресурсів, таких як вода, постійно зростає, і оцінюється в 1,18 мільярда в 2020 році. У регіонах, де карст є домінуючим типом ландшафту, всі забудови, в тому числі цілі міста та промисловість, мали будуватись на карсті. Це призвело до збільшення екологічного тиску на крихкі карстові екосистеми. Тим не менш, прогрес у розумінні

динаміки карсту в поєднанні з більш стійким підходом призвів до важливих успіхів у дозволі співіснування розвитку і захисту карсту.

Розвиток та інфраструктура в карстових районах можуть мати різні типи та функції, що призводить до різних ступенів крихкості та впливу. Прийнято широку класифікацію, яка містить:

- Лінійні інфраструктури.
- Дамби і водосховища.
- Галузі промисловості.
- Міські забудови.

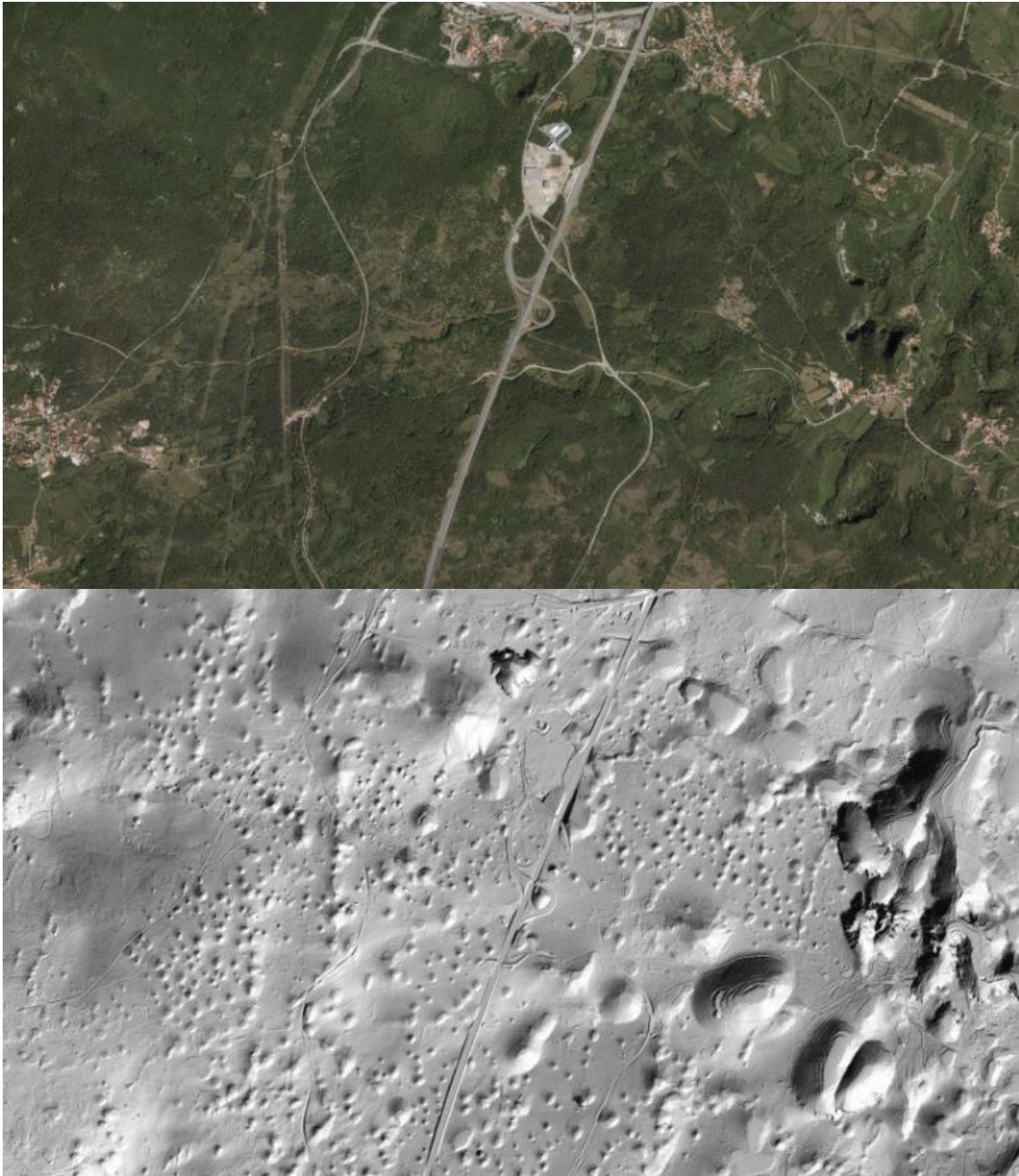
Ці різні типи зазвичай перемішуються, і межа між ними часто розмита. Як загальне правило, якого, на жаль, не скрізь дотримується, перед будь-яким встановленням має бути проведено екологічну оцінку об'єкта та його найближчого оточення (захисна буферна зона). У цій зоні слід провести більш детальне дослідження, інвентаризацію печер і поверхневих карстових особливостей, щоб оцінити, чи слід продовжувати проєкт чи слід шукати альтернативні місця. Змінити місце розташування даного проєкту іноді неможливо, як, наприклад, у випадку деяких водосховищ і дамб. Однак у більшості випадків цей захід, який на початку може здаватися дорогим і радикальним, зрештою може виявитися мудрим, оскільки дозволить уникнути дорогих процедур, пов'язаних із відшкодуванням довкілля чи судовим процесом.

### *Лінійні інфраструктури*

Лінійна інфраструктура включає дороги, залізниці, лінії електропередач, водні канали та інші споруди, які зазвичай вузькі та мають значну довжину. Важливі для транспортування людей, товарів, води та енергії, їх щільність безпосередньо пов'язана з економічним багатством і чисельністю населення.

Через характерний пересічений рельєф карстових зон будівництво таких споруд може бути складним завданням. Прокладка тунелів є звичайною альтернативою для перетину карстових масивів, і це може призвести до перехоплення невідомих печер і часткового затоплення. Додатковим міркуванням є стабільність прилеглих печер і те, як вони пов'язані з вібрацією під час будівництва та експлуатації. Частковий або навіть повний обвал печер через вібрацію транспорту може статися, але це трапляється рідко і залежить від місцевої геології та глибини печери – є приклади доріг, які перетинають печери або проходять у них без помітних морфологічних ушкоджень. Подібні геотехнічні міркування стосуються використання печер як природних мостів. У таких ситуаціях слід провести окреме дослідження, щоб стверджувати, що печерам і дорозі не завдано шкоди. Зазвичай існує певний ступінь гнучкості у плануванні лінійних структур, і відведення від більш вразливих карстових зон має бути прийнято на ранній стадії, якщо це взагалі можливо.

Стік з доріг і залізниць часто забруднений і, як правило, спрямовується до каналізаційних каналів, точок затоплення в карстових територіях з потенціалом забруднення джерел і водопостачання. Це може бути дуже серйозно, якщо аварія призведе до розливу небезпечних хімікатів. Хімічні сполуки поводяться складно залежно від їх густини та складу. Очищення забрудненого карстового ґрунту та печер часто є складним і дорогим. Завдяки анізотропним властивостям карстових водоносних горизонтів і загалом високим темпам інфільтрації, можливо, що частина шлейфу забруднення швидко поширюється через канали, з'являючись у високих концентраціях через години або дні після надходження, тоді як решта зберігається в епікарсті та менших каналах. так що він все ще з'являється в менших концентраціях через десятки або сотні днів після введення.



*Повітряні (верхні) та LIDAR (нижні) зображення долин, що прилягають до великої автомагістралі поблизу Діваці в Словенії. Відтворено з Атласу навколишнього середовища Агентства з охорони навколишнього середовища Республіки Словенія (EARS).*

Карст також може впливати на лінійні структури, особливо через розвиток долин або обвалення в неглибоких печерах. Геофізичні дослідження можуть допомогти у визначенні порожнин і печер, яких слід уникати, хоча після цих досліджень можуть утворитися воронки, викликані витоком води з каналів або втратою вздовж побудованих дренажних систем. Існує менший ризик зіткнень з лініями електропередач через велику відстань між стовпами (опорами), хоча трапляються випадки зіткнення поблизу стовпів. Приблизно з 2010 року спостерігається помітне зростання ринку відновлюваної енергії, зокрема виробництва електроенергії за допомогою вітрових турбін. Незважаючи на те, що вони не є строго лінійними, вони зазвичай розподіляються паралельними рядами і функціонують за аналогічних міркувань. Ці важкі конструкції мають певний ступінь гнучкості розміщення, тому їх слід тримати подалі від печер. Вітрові турбіни також можуть вбивати кажанів, як правило, не від прямого удару лопатями, а через баротравму, раптове падіння тиску повітря,

яке руйнує легені кажанів. Вітрові турбіни слід розташовувати та експлуатувати за узгодженням з хіроптерологами, щоб мінімізувати шкоду видам кажанів у цьому районі.



*Відведення другорядної дороги навколо долин, як показано вище, є простою та ефективною стратегією, однак основні магістралі мають бути максимально прямими. На цій фотографії зображена долина на трасі автостради через Словенію. Долину було викопано, а вихідний отвір загерметизовано перед обережним заповненням, щоб зменшити ризик обвалу. Фото Джона Ганна.*



*Маршрут тієї самої автомагістралі в Словенії пролягає над тим, що спочатку було заповненою осадами печерою без даху. Співпраця між конструкторами та Інститутом карсту в Постойні гарантувала, що печера була ретельно задокументована перед заповненням і герметизована, щоб зменшити ризик обвалу. Фото Джона Ганна*

## Дамби і водосховища

Вода, як правило, тече під землю в карстових районах. Незважаючи на те, що водотоки, улоговини та джерела є типовими ознаками, зазвичай на поверхні є обмежений дренаж. Через це протягом всієї історії було критично важливо знайти способи доступу та збереження води для особистого споживання або для сільського господарства. Це вимагало таких інженерних рішень, як буріння свердловин або розміщення насосних пристроїв у печерах. Відповідною альтернативою є будівництво дамб або водосховищ з метою утримання води над землею та полегшення контролю та розподілу потоку. Карстові породи є природними цілями для будівництва дамб, де вони зазвичай представляють низькі ділянки ландшафту через їхню високу розчинність. Крім того, глибоко врізані долини або каньйони, іноді у результаті обвалу печер, є звичайними формами рельєфу в багатьох карстових районах і можуть бути привабливими для дамб. З часів античності в карсті були побудовані тисячі дамб і водосховищ, особливо в Європі та Китаї.



*Дамба гідроелектростанції, побудована в карстовій місцевості, Лаос. Фото Террі Болджеря.*

Більшість гребель і водосховищ у карсті демонструють певний ступінь витіку, що зазвичай прийнято з самого початку, навіть якщо застосовується масштабне та дороге цементування (тобто заповнення порожнеч бетоном або іншим непроникним матеріалом). Це пов'язано з тим, що геофізичні методи мають тенденцію втрачати роздільну здатність із збільшенням глибини, а сучасна технологія не може достовірно визначити розмір і розташування потенційних шляхів витіку, представлених трубами та печерами. Крім того, будь-яка гребля або водосховище створює поверхню води на вищій висоті, ніж раніше існуюча, тим самим збільшуючи «гідралічний градієнт». Цей підвищений градієнт призведе до збільшення швидкості потоку ґрунтових вод, який працює в турбулентному режимі, потенційно видаляє відкладення, які колись заблокували наявні проходи. Іншим потенційним недоліком є те, що цей нещодавно створений градієнт збільшить швидкість розчинення, дозволяючи розширювати канали протягом усього терміну служби греблі, особливо в евапоритових областях, де порода значно більш розчинна, ніж у карбонатному карсті. Тому не дивно, що витіки з часом збільшуються. Крім того, витік через тріщини та печерні проходи вниз за течією від водосховища та вага водяного стовпа можуть спричинити утворення долин, а це, у свою чергу, призводить до новоствореної зони витіку, а також до невеликих сейсмічних поштовхів у навколишньому середовищі. Додаткові екологічні проблеми пов'язані з гідралічними зв'язками з іншими гідрографічними басейнами та перешкодами для руху водної фауни, в тому числі забруднення води. Якщо дамбу було визнано неекономічною або надто шкідливою для навколишнього середовища, її можна видалити, хоча це



дороге та технічно складне підприємство, яке не позбавлене власних ризиків. Це може виявитися менш дорогим, ніж продовження цементування, обслуговування чи іншого відновлення дамби.

У деяких карстових районах будують дамби, щоб збільшити запаси води в карстових водоносних горизонтах. Загалом більш ефективна та менш проблематична конструкція розміщує дамбу вище за течією карстової зони, дозволяючи утворенню опадів відбуватися там, де воно не закриває карстові канали, і вода вивільняється зі швидкістю, яка дозволяє всьому потоку поглинатися у водоносний горизонт. Однак така конструкція не завжди можлива. Альтернативна конструкція розміщує дамбу в кінці карсту або вниз за течією, збираючи воду безпосередньо над карстом. Цей метод призводить до більш високої седиментації печер і каналів і до більшого впливу на екосистеми печер, які не сформувалися для цих гідрологічних умов. Крім того, розлив забруднюючих речовин у водосховище потраплятиме безпосередньо у водоносний горизонт, тоді як у конструкції дамби, розташованої вище за течією, є більше можливостей уловлювати та видаляти або рекультивувати забруднюючі речовини до потраплення їх у ґрунтові води. Жодна конструкція не повинна використовуватися в неглибоких карстових горизонтах з низьким накопиченням ґрунтових вод, де додаткова вода швидко витікає через водоносний горизонт. Певний успіх був помічений у збільшенні об'єму підземних вод у великих глибоких артезіанських карстових водоносних горизонтах, таких як водоносний горизонт Едвардса в Техасі.

## Промисловість

Промисловості бувають різних розмірів, цілей і форм. Переробні підприємства, пов'язані з сировиною, отриманою з карсту, як-от цемент або карстові мінерали, зазвичай розташовані поблизу кар'єру чи шахти, що зазвичай означає, що вони побудовані на карстовій основі. Деякі загальні характеристики цих галузей: 1) висока потреба у воді для переробки та охолодження корисних копалин; 2) потреба у викопному паливі; і 3) зони захоронення, які іноді значно перевищують територію заводу, особливо в районах видобутку, де домішки або розкриті породи значні. Ці характеристики означають, що деякі галузі промисловості завдають великої шкоди карстовому середовищу та вимагають ретельного контролю викидів рідини та атмосфери. Перекачування ґрунтових вод може призвести до осідання ґрунту та обвалення кар'єрної ями. Забруднення повітря включає не лише шкідливі парникові гази, але й різноманітні частки, які можуть пошкодити або зачепити печери та карстові елементи.

Ті галузі промисловості, які не пов'язані з видобутком корисних копалин, зазвичай розташовані ближче до споживачів або до транспортних шляхів. Через особливу вразливість карсту, імовірно, знадобляться певні модифікації будівельних чи зональних норм. Наприклад, SUDS (Схеми стійкого дренажу) зазвичай вимагають від розробників забезпечити водовідведення або інфільтраційні ставки, щоб уникнути додаткової плати за зливовий дренаж. У карстових районах вони потенційно можуть спровокувати обвалення воронки та змінити кількість і якість ґрунтових вод. Спільним для багатьох галузей є великий вуглецевий слід, що призводить до впливу далеко за межі карстових регіонів.

## Міський розвиток

Як обговорювалося в Особливій природі карстових середовищ і печерних систем, зосереджене живлення потрапляє в карст через шви, котловини та воронки в природних умовах, хоча значною мірою живлення є дифузним і ослабленим, особливо там, де є покрив ґрунту та рослинності. Міські території над карстовими територіями являють собою надзвичайний приклад зміни цих умов, посилюючи деякі проблеми, пов'язані з іншими типами розвитку. Міста кардинально змінюють природну структуру інфільтрації, вводячи великі площі непроникних матеріалів у вигляді дахів, тротуарів і доріг. Ці зміни, ймовірно, призведуть до концентрованого стоку, який зазвичай є каламутним і забрудненим опадами, маслом, жиром, свинцем та іншими хімікатами. Таким чином, існує потреба в ефективному способі спрямування міського дренажу від карсту, якщо це можливо, до корінних порід. В ідеалі слід покращити якість води перед тим, як вона потрапить у карст. У багатьох містах, таких як Боулінг-Грін (штат Кентуккі) «зливові дренажні колодязі» є критичними. Боулінг-Грін побудований на хвилястій карстовій рівнині та є одним із кількох міст, під якими знаходиться печерна система, що збільшує потенціал забруднення до карстового водоносного горизонту. Відсутність перших правил зонування дозволила будівництво в долинах, які схильні до затоплення під час сильних дощів. Заводнення інших долин зменшило їх здатність до дренажу та зменшило накопичення паводкової води. Неефективна природна дренажна система призводить до затоплення в міських районах із великими просторами водонепроникних матеріалів – поширена проблема в деяких карстових умовах. Утилізація сміття та стічних вод є ще одним ключовим питанням у карстових районах, особливо в менш розвинених країнах. У деяких містах відсутні будь-які типи колекторних септичних систем, при цьому стічні води або скидаються безпосередньо в дренажні канали чи струмки, скидаються в саморобні підземні резервуари або в тріщини чи воронки в карсту. Ці рудиментарні системи не фільтрують і не послаблюють розсіювання забруднень і можуть становити серйозну загрозу для карстових водоносних горизонтів і печерних екосистем. Крім того, водонепроникне покриття може змінити місцевий гідрограф і створити більш швидкий стік, збільшуючи висоту сходів у

печерах і воронках, а також скорочуючи тривалість штормової реакції, що призводить до меншої кількості води під час посушливих періодів.

Дошові стоки з міських територій можуть бути дуже токсичними, з маслом, жиром, бактеріями та іншими міськими локальними джерелами забруднення. Рівень бактерій у міських районах також може бути дуже високим через ексфільтрацію септичних каналізаційних систем, відходів домашніх тварин і міської дикої природи, що призводить до серйозної деградації ґрунтових вод.

Що стосується твердих відходів, то окремі території, які називаються «полігонами», зазвичай підпадають під суворі умови планування. Ці ділянки повинні бути розташовані, якщо це взагалі можливо, за межами карсту, над водонепроникними скелями, і повинні бути обгороджені непроникними бар'єрами, щоб запобігти витоку. На жаль, у менш розвинених країнах це трапляється рідко, що призводить до забруднення ґрунту та підземних вод. Забруднення атмосфери через транспортні засоби, будинки та промисловість є ще одним типом впливу на навколишнє середовище, що посилюється в містах і може призвести до кислотних дощів і розсіювання частинок



*Сміття транспортується печерним потоком у Лагоа-Санта-Карст, Бразилія. Фото Люсіана Альт.*

Небезпечні матеріали (HazMat) зазвичай використовуються та транспортуються через карст, і викиди цих матеріалів призводять до значного впливу на печери, карстові ресурси та ресурси підземних вод. Виявлення, моніторинг і усунення інцидентів HazMat дуже складно через такі проблеми:

- Ґрунти зазвичай незначно послаблюють забруднювачі або взагалі нейтралізують їх.
- Швидкий рух ґрунтових вод (>1 км/день) у карсті може передавати забруднення на великі відстані, перш ніж його можна буде локалізувати та очистити.
- Шляхи потоку погано визначені, тому зв'язки між впоркуванням і викидом зазвичай невідомі.
- Системи моніторингу є складними та дорогими для встановлення, вибірки та обслуговування.
- Системи моніторингу не репрезентативні щодо концентрації або масштабу забруднення через анізотропний характер потоку ґрунтових вод у карсті, а також не репрезентативні щодо концентрації чи масштабу забруднення.
- Обмежена кількість і наявність спеціалістів з гідрогеології карсту.
- Методи відновлення можуть бути важкими для встановлення та експлуатації та можуть мати обмежену ефективність.

Викиди небезпечних матеріалів можуть відбуватися внаслідок промислових аварій; навмисні вивільнення; через неправильну утилізацію відходів після споживання (гербіцидів і пестицидів) у водосховища, водотоки чи септичні системи; через викид негерметичних підземних резервуарів; через септики і каналізаційні системи; і лінії транспортування нафти і газу. Бензин та інше паливо разом із розчинниками (під час хімічистки) є звичайними матеріалами, які потрапляють у навколишнє середовище. Окрім забруднення ґрунтових вод, деякі випари можуть бути токсичними або вибухонебезпечними, якщо вони накопичуються та можуть призвести до вибухонебезпечного середовища в печерах, каналізаційних системах і навіть у будинках і громадських будівлях.

Екстрене реагування на інциденти HazMat у карсті є дуже складним, і процедури повинні спочатку включати захист громадської безпеки, а потім захист поверхні та надр. Рекультивация повинна, якщо можливо, налаштувати локалізацію та видалення будь-яких рідких і твердих відходів. Небезпечні матеріали ніколи не можна змивати на поверхню, оскільки вони можуть призвести до забруднення приватних і громадських джерел водопостачання, отруєння печерної біоти, накопичення вибухонебезпечних парів у печерах і будівлях і погіршення якості води в джерелах, що вплине на екосистеми, залежні від джерел, і користувачів, що знаходяться нижче за течією. Дослідження впливу від викидів небезпечних матеріалів у карст повинен проводити досвідчений фахівець із карстових питань.

Перекачування підземних вод є поширеним явищем у містах. Комбінований видобуток із тисяч державних чи приватних свердловин може мати такий же ефект, як і одна велика схема видобутку, як у випадку шахт і промислових підприємств. Осідання в міських умовах є поширеним явищем у багатьох регіонах світу, де використовуються підземні води, а у Флориді (США) це часто включено в пакети страхування будинків. Воронки можуть виникати через витік у водопровідних або каналізаційних трубах, що призводить до руху ґрунту в тріщини або утворення пустот у ґрунті з наступним обваленням. Перекачування підземних вод у міських районах також може призвести до зменшення або повної втрати

джерельного стоку, який є важливим ресурсом для користувачів, що знаходяться нижче за течією, а також видів, які залежать від джерел.



*Неправильно побудоване сміттєзвалище в Лагоа Санта Карст, Бразилія. Фото Люсіана Альт.*

Затоплення воронки через неправильне управління стоком зливових вод може створити проблеми в карсті. Будівництво у воронках у поєднанні з вищим водонепроникним покриттям, пов'язаним з урбанізацією, може призвести до швидкого та тривалого затоплення. Неналежне регулювання практики землекористування може стати причиною закупорювання «стоків» воронки осадами, рослинністю та сміттям, а також спричинити збільшення висоти та тривалості затоплення.

Там, де міста розташовані на межі карстових територій, зростання міст краще спрямувати на некарстові території, де розвиток зазвичай відбувається легше, дешевше та з меншим впливом на навколишнє середовище. Громадська освіта може допомогти таким зусиллям. В Остіні та Сан-Антоніо (штат Техас) жителі, стурбовані своїми карстовими водоносними горизонтами, проголосували за невелике підвищення своїх податків, щоб зібрати сотні мільйонів доларів протягом 20–30 років на купівлю великих карстових ділянок, відведених для захисту водоносних горизонтів і зникаючих видів.

Оскільки більшість населення світу зараз проживає в містах, то міста стали ключовими елементами програми сталого розвитку. Кілька кліматичних ініціатив і проектів NBS (Nature Based Solutions) зараз спрямовані на пом'якшення перерахованих раніше впливів, щоб досягти вуглецево-нейтрального (або, в ідеалі, негативного) середовища.

### *Розвиток та інфраструктура природоохоронних територій*

Охоронювані території можуть мати різні рівні «захисту», причому деякі навіть допускають існування промислових або міських територій, за умов виконання деяких вимог, тоді як інші є територіями дикої природи. Більшість найпопулярніших природоохоронних територій у карсті мають такі зручності, як центри для відвідувачів, ресторани та житло для персоналу, науковців і туристів. Перелічені раніше впливи також стосуються цих структур, і в ідеалі вони повинні бути розташовані подалі від більш крихких карстових структур. У національному парку Гунунг-Мулу (Саравак) усі об'єкти знаходяться за кілька кілометрів від печер. Однак у багатьох заповідних територіях існують будівлі поблизу або безпосередньо над печерами та воронками. Слід бути обережним, оскільки траплялися численні випадки впливу цих споруд на навколишнє середовище, включно з одним випадком прямого зв'язку між туалетною вигрібною ямою та печерним потоком, що було доведено експериментом з відстеження води.

Конструкції всередині печер зазвичай зведені до мінімуму. Однак у деяких популярних природоохоронних територіях є підземні ресторани (зокрема Національний парк Карлсбад і Національний парк Мамонтова печера - обидва в США), сувенірні магазини, туалети, амфітеатри для підземних шоу, ліфти та залізничні колії для поїздів і фунікулерів. Усі ці споруди мають певний вплив на навколишнє середовище і повинні бути встановлені лише після комплексної екологічної експертизи. У плані управління природоохоронною територією має бути чітко вказано, чи є вони виправданими як засоби забезпечення комфорту (або ізоляції від природних умов) і безпеки відвідувачів.

## Висновки

Карст і люди співіснували з часів, коли з'явилися перші гомініди, і з тих пір виник симбіотичний союз, що включає використання та вплив. Дуже небагато печер або карстових територій повністю вільні від будь-якої діяльності людини, однак у 21 столітті спостерігається тенденція до досягнення балансу між збереженням і впливом. Досягнення сталого розвитку в густонаселених карстових районах є складним завданням, але все частіше проекти зеленої інфраструктури роблять можливим рух до більш збалансованого використання екологічних послуг.

## Тези

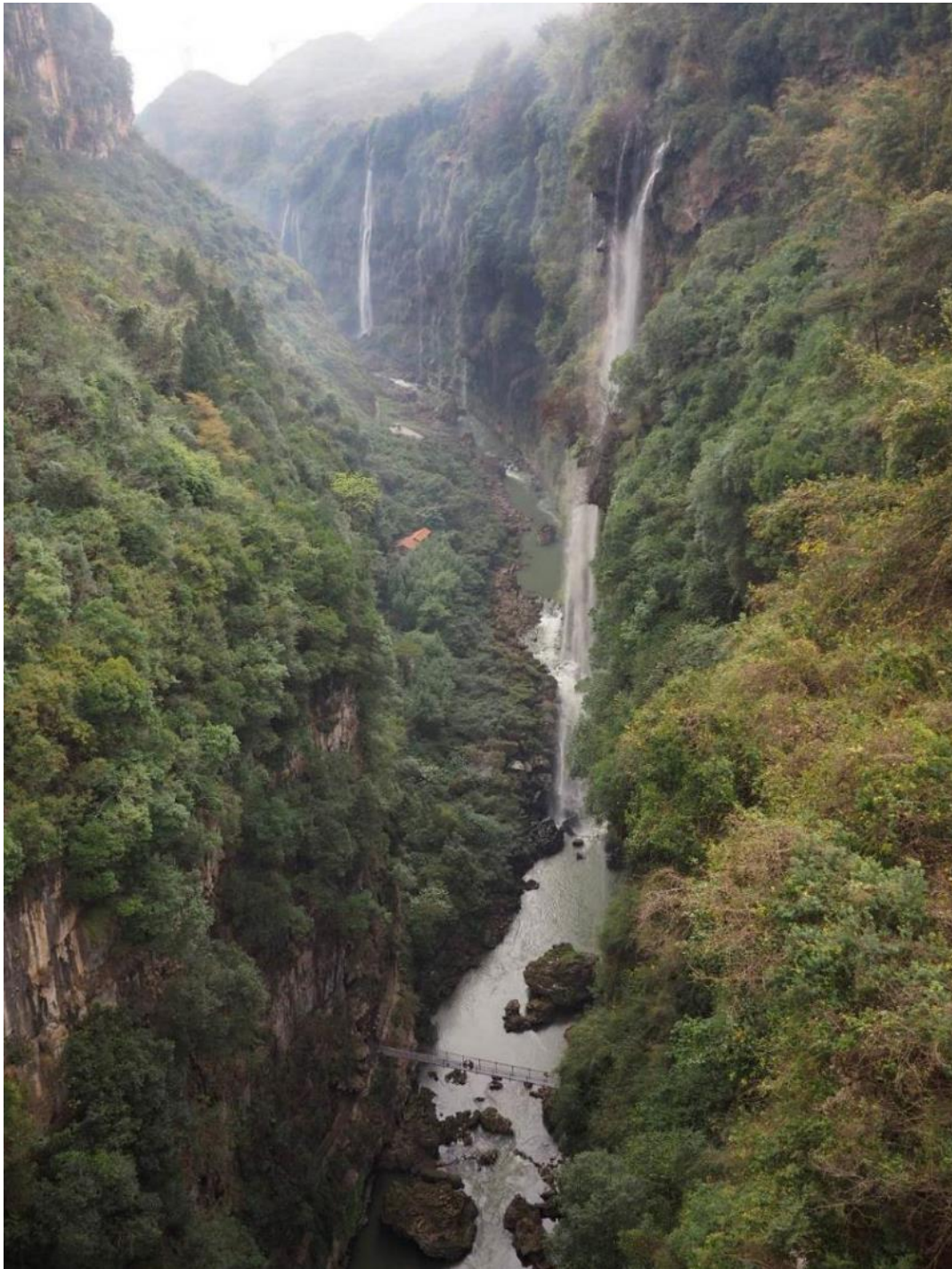
- (52) Усі техніко-економічні обґрунтування будівельних проектів у карстових районах повинні мати ретельне вивчення запланованого місця розташування, детальну екологічну оцінку та розмір захисної буферної зони. Якщо є можливість перенести проект або містобудування подалі від карстової зони, це може бути економічно та екологічно позитивним рішенням.
- (53) Необхідно розробити та застосувати протоколи щодо утилізації атмосферних, рідких і твердих відходів, які утворюються під час та після будівництва. Вони повинні поширюватися на всю критичну зону карсту, яка включає атмосферу, ґрунт, епікарст і верхню зону карстових водоносних горизонтів.
- (54) Будівельні норми для карсту повинні виконуватися так само, як і для територій, схильних до землетрусів або повеней. Міське зонування в карстових регіонах має враховувати особливості та вразливість карстового середовища.
- (55) На місцевому, регіональному та національному рівнях слід запровадити міцну науково обґрунтовану законодавчу базу планування.
- (56) Освітні ініціативи слід застосовувати на практиці, особливо в менш розвинених країнах, щоб інформувати землевласників або жителів міст про крихку природу карстових територій.
- (57) На заповідних територіях інфраструктура має бути зведена до мінімуму та, якщо можливо, розташована подалі від печер і карстових об'єктів.
- (58) Належний план регулювання природоохоронної території має ретельно зважувати всі переваги та недоліки будівельних конструкцій у межах території, прагнути до захисту навколишнього середовища та безпеки відвідувачів замість задоволення непотрібного комфорту. Краще не заохочувати масштабні інфраструктурні проекти в печерах, якщо це не є нагальною потребою.
- (59) З небезпечними матеріалами слід працювати дуже обережно та належним чином використовувати, щоб мінімізувати викиди. Особи, які першими реагують на інциденти HazMat, повинні бути навчені конкретним методам впливу на карст.
- (60) Небезпечні матеріали, будь то бензин чи інше паливо, розчинники, стічні води чи інші токсичні відходи, ніколи не повинні змиватися у вільний підземний простір. Дослідження та рекультивация підземних вод є надзвичайно складною та дорогою справою. Наскільки це можливо, токсичні матеріали слід утримувати та видаляти з поверхні. Більш детальні дослідження потенційного впливу на навколишнє середовище мають проводити досвідчені фахівці з карсту.

## Водопостачання

Доступ до води відіграв важливу роль у розвитку людини. Греки, мінойці (Крит), римляни та багато інших народів навчилися раціонально використовувати карстові водні ресурси, причому багато міст отримали вигоду від розташування поблизу карстових джерел як джерел питної води або для відпочинку, таких як термальні джерела на Сиракузі на Сицилії, Італія, Нім, Франція та Бат, Великобританія. В Америці культура майя здебільшого розвивалася в карстовій місцевості, де вода була доступна лише через обвали, відомі місцевим як сеноти. Однією з головних характеристик карстових територій є те, що через розчинність гірської породи поверхневий дренаж є рідкісним, і вода, як правило, тече під землею, іноді з доступом через печери або, переважно, лише з джерел. З іншого боку, родючий ґрунт (відомий як terra rossa в Середземномор'ї) придатний для сільського господарства. Сільське господарство та зростання міст призвели до широкого використання карстових вод як надійних джерел питної води в багатьох частинах світу. Карстові джерела використовувалися принаймні з 19 століття для традиційної промисловості лікєро-горілчаних напоїв, наприклад, бурбонського віскі в США та траппістського пива в Бельгії.

На основі Всесвітньої карти карстового водоносного горизонту (WOKAM) було підраховано, що 15,2% глобальної вільної від льоду континентальної поверхні характеризується наявністю карстоподібних карбонатних порід. Станом на 2020 рік

близько 1,2 мільярда людей (16,5% світового населення) проживали в карстових районах, а близько 700 мільйонів людей споживали воду. Ймовірно, цей відсоток збільшиться, створюючи загрозу сталому використанню карстових водоносних горизонтів. Зазвичай потрібні інженерні рішення для ефективного водопостачання карстових вод, в тому числі свердловини та резервуари. До 1986 року в усьому світі (за винятком Китаю) було побудовано понад 17 000 дамб у карсті, але багато з них зазнали значного витоку або ніколи не були повністю заповнені. Ці ранні інженерні невдачі призвели до поширеної думки, що інженерія в карсті повинна «очікувати несподіваного». Крім збільшення населення, наслідки зміни клімату, ймовірно, посилять залежність людей від карстової води, особливо в деяких більш густонаселених карстових районах Азії, Близького Сходу, Європи, Північної та Центральної Америки.



*Карстові джерела в ущелині Малінхе, провінція Гуйчжоу, Китай. Фото Джона Ганна.*

У карстових місцевостях інфільтрація, як правило, відбувається швидко через долини або шви в корінних породах, хоча в районах з товстим водонепроникним ґрунтом, який зазвичай утворюється на поверхневих відкладеннях, таких як лес або вулканічний попіл, під час дощів існує шанс виникнення озер. На відміну від інших гірських порід, потік підземних вод може бути дуже швидким, відбуваючись через канали або печери. Глибина ґрунтових вод змінюється залежно від регіону, і в деяких регіонах немає суцільної поверхні, як це було б у водопроникних породах. У рівнинних прибережних

районах, наприклад у Флориді або на Юкатані (Мексика) ґрунтові води можуть бути лише на кілька метрів під землею, що робить доступ відносно легким. Однак у гірських карстових районах зазвичай існує кілька сотень метрів вадозної зони, що перешкоджає легкому доступу до ґрунтових вод і потребує геніальних рішень.

Надмірна експлуатація карстових вод відбувається в багатьох регіонах світу, що призводить до зниження рівня води. Це має серйозні наслідки для водних екосистем у карсті, оскільки джерела та печерні річки можуть пересохнути. Зниження рівня на кілька десятків метрів спостерігалось в багатьох карстових районах через свердловини для побутового водопостачання і промисловості. Перекачування карстових підземних вод може бути локальним джерелом, як у випадку шахт і кар'єрів, які потребують великих схем водовідведення для роботи, але частіше зниження рівня ґрунтових вод відбувається через об'єднаний об'єм води, що викачується з кількох свердловин, або для міського споживання, або для іригації. Печери та порожнини нижче рівня ґрунтових вод (у фреатичній зоні) частково залишаються стабільними завдяки підтримці, яку створює вода. Згортання може бути викликано, якщо цю опору швидко видалити через накачування. Подальший вплив, пов'язаний зі зниженням рівня води, виникає, коли контакт між ґрунтом і карстовою основою (відомий як епікарстова зона) оголюється над рівнем ґрунтових вод. Це призводить до гравітаційного надходження ґрунту в збільшені шви, створюючи нестабільні порожнини у ґрунті. Обвалення цих порожнин є причиною випадання воронок (долин), частих у карстових районах, які піддаються інтенсивному зневодненню. Перекачування ресурсів прісної води в пустелях, на островах або в прибережних карстових районах також може призвести до вторгнення солоні води. Занедбані або неправильно побудовані або обслуговувані колодязі також можуть бути каналом для поверхневого забруднення, яке потрапляє в підповерхню і призводить до забруднення ґрунтових вод.

У деяких карстових районах трапляються повені, що зазвичай пов'язані з урбанізацією. Непроникні поверхні, що покривають землю в більшості міст, означають, що природна інфільтрація значно зменшена, зосереджена в кількох структурах стоку, які спрямовуються до рівня ґрунтових вод. Об'єм стокової води іноді перевищує межі цих систем, що призводить до широкомасштабних повеней, як це часто трапляється в урбанізованих карстових районах Кентуккі. Повені, ймовірно, збільшаться через екстремальні дощі, пов'язані зі зміною клімату, створюючи додаткові проблеми для карстових територій, оскільки штучні структури стоку і печерні канали можуть не впоратися з більшими обсягами води. Воронки також можуть затоплюватися не від води, що стікає в них, а від води, що піднімається знизу, де великі об'єми води спрямовуються у воронки на вищих висотах і переносяться на нижчі висоти через печери та канали.

За винятком тих карстових областей з товстими поверхневими відкладеннями, поповнення до карсту та потік води вздовж карстових каналів зазвичай є на порядки більш швидкими, ніж у більшості систем підземних вод. Таким чином, карстові ґрунтові води мають обмежене природне поглинання та фільтрацію, що означає, що будь-яке забруднення з сільськогосподарських джерел, таких як нітрати, промисловість або випадкові розливи, може легко досягти рівня ґрунтових вод і швидко поширюватися на великі відстані по трубопроводах. Це робить забруднення карстової води дуже складним для оцінки та пом'якшення впливу. Забруднення може негативно вплинути на екосистему, пов'язану з карстовими водоносними горизонтами, загрожуючи життю в печерах. Невідповідні септики або навіть повна відсутність будь-якої належної системи утилізації людських відходів є поширеним явищем у багатьох карстових районах по всьому світу, що збільшує потенціал зараження патогенами. Різні хімікати і всіляке сміття можуть потрапити в карстові водоносні горизонти. У деяких регіонах загальноприйняте уявлення про те, що «поза очима — це поза розумом», спонукало людей скидати матеріал у долини та печери. Деякі печерні річки в міських районах були сильно забруднені, будучи не більш ніж «природними» каналізаційними колекторами, і були потрібні значні зусилля для очищення, наприклад, печера Хідден-Рівер у Хорс-Кейв і Печера Лост-Рівер у Боулінг-Грін, обидві в Кентуккі.

Вирубка лісів для сільського господарства та пасовищ або посухи, що посилюються зміною клімату, можуть позбавити захисний рослинний покрив і спровокувати ерозію ґрунту. Це може спричинити забивання днищ канавок або ковпаків, що призведе до затоплення. Додатковим впливом є замулення поверхневих і печерних дренажів іноді з блокуванням проходів та накопиченням осаду всередині печер. Водозбірними територіями печер по всьому світу часто керують неналежним чином, що призводить до змін у гідрологічному циклі. Зміни у землекористуванні над печерами можуть спровокувати проникнення ґрунту в шляхи просочування, впливаючи на колір і цілісність спелеотемів. Це особливо критично для показових печер, у яких теригенна седиментація може змінити колір печерних спелеотемів, в іншому випадку переважно білих.

Деякі з вищезазначених впливів на навколишнє середовище відбуваються через локальні короткочасні епізоди, такі як випадковий розлив хімікатів. Але інші, такі як забруднення через урбанізацію чи промисловість, або надмірне перекачування, можуть мати місце протягом років або десятиліть. Подальший вплив пов'язаний зі зміною клімату, яка може вплинути на водний баланс карстових територій протилежними способами, посилюючи дефіцит води через посуху або збільшуючи потенціал повеней через рекордну кількість опадів. Обидві ситуації зараз поширені у всьому світі. Карстовані регіони Мексики, Карибського басейну та південної Флориди, наприклад, зараз піддаються підвищеній частоті ураганів, у той час як у схильних до посухи районах спостерігається зменшення скидів печерних дренажів. Наслідки зміни

клімату часто накладаються на інші фактори, що посилює їх вплив. Підвищення рівня океану через зміну клімату потенційно може суттєво вплинути на карстові водоносні горизонти, оскільки канали забезпечують шляхи течії морської води вглиб країни, тим самим збільшуючи солоність підземних вод.

Крім того, деякі карстові території виходять за межі міжнародних кордонів, наприклад на Балканах та в інших частинах Європи та Південно-Східної Азії. Управління карстовими ресурсами може потребувати міжнародного співробітництва, щоб уникнути конфліктів щодо управління ресурсами загалом і ресурсами підземних вод зокрема.



*Паводкова вода, що скидається з печери Мармурової арки (Фермана, Великобританія) у транскордонному глобальному геопарку ЮНЕСКО Cuilcagh Lakelands. Фото Джона Ганна.*

## Тези

- (61) Визначте захисні буфери для карстових джерел води, таких як підземні свердловини, колодязі та печери. У цих захищених територіях мають бути встановлені протоколи щодо сільськогосподарської практики з належним використанням добрив і контрольованим відкачуванням води. Вже було запропоновано декілька схем створення охоронних зон у джерелах, але вони отримали широке застосування лише в Європі та США.*
- (62) Освітні ініціативи мають сприяти обізнаності як землевласників, так і звичайних громадян щодо особливостей карстового середовища з метою уникнути неналежної утилізації твердих, санітарних та токсичних відходів.*
- (63) Необхідно встановити надійну систему моніторингу на основних джерелах і вибраних свердловинах у сприятливих і високо використовуваних системах підземних вод у карстових зонах. Довгострокове дистанційне спостереження з високою роздільною здатністю тепер є можливим і має бути реалізовано ширше.*
- (64) Країни повинні ставитися до карстової води як до вразливого та обмеженого ресурсу, а також мають впроваджувати закони для контролю та дисципліни видобутку води, отримувати офіційний дозвіл на відповідне фінансування для швидкого реагування у випадку забруднення. Зокрема, слід втілити в життя рекомендації щодо правильного проектування та встановлення септиків і розміщення сміттєзвалищ.*
- (65) Оскільки мало що відомо про характер впливу багатьох забруднювачів у карстовому середовищі, необхідно забезпечити належне фінансування для просування наукового висвітлення цієї теми.*



# Управління карстом на природоохоронних територіях

## Розвиток ефективного моніторингу та пом'якшення антропогенного впливу

### Принципи моніторингу

Моніторинг є важливим інструментом в управлінні та захисті печер і карстових ресурсів, особливо в природних заповідних територіях. Індикатори моніторингу та вимірювання вибираються для надання надійної інформації про поточний стан печерних і карстових ресурсів, яку можна порівняти з «базовими» умовами, які існували на початку управління, а в ідеалі – до того, як відбулися будь-які зміни, спричинені діяльністю людини. Крім того, для таких ділянок, як показові печери, де існує довга історія розвитку, можна використовувати сусідню незабудовану печеру в якості «базової лінії». Крім того, під час пандемії Covid-19 у 2020–2021 роках багато показових печер були зачинені на різні періоди, і там, де моніторинг тривав за допомогою автоматизованих датчиків, дані дають наближення до природних умов. Моніторинг виявляє зміни з часом у стані ресурсів, як впливи, так і покращення, а отже, і ефективність адміністративних дій. Результати поточного моніторингу можна використовувати для інформування керівництва та пом'якшення впливу (адаптивне управління).

В ідеалі програма моніторингу печер і карсту повинна бути комплексною і включати абіотичні ресурси: воду, повітря і ґрунт, а також геологічні та геоморфологічні особливості разом з біотичними ресурсами: фауною, флорою, середовищами існування та екосистемами. Однак агентства з управління природоохоронними територіями часто не мають достатнього фінансування для підтримки такої комплексної програми оцінювання. Відповідно, зусилля з моніторингу мають бути зосереджені на визначенні пріоритетів природних ресурсів на основі їхньої цінності чи значущості, їхньої вразливості чи нестабільності, а також серйозності фактичних та потенційних загроз чи впливу (природного чи людського). Для печер важливо мати перелік основних об'єктів, геологованих на карті печери (якщо така є), щоб допомогти у визначенні місць моніторингу. Це можна полегшити за допомогою методів на основі ГІС. Моніторинг печери повинен охоплювати територію навколо печери, оскільки впливи ззовні можуть змінити динаміку печерної системи.

Після визначення пріоритетності ресурсів, що підлягають моніторингу, необхідно вибрати відповідні показники для моніторингу. Критерії для вибору показників включають в себе те, чи є він відповідним і науково достовірним, здійсненним, чи має вимірний низький вплив і чи є економічно ефективним. У разі судового розгляду індикатори можуть потребувати підтримки відповідного екологічного законодавства. Індикатори та методи моніторингу слід вибирати таким чином, щоб вони були зрозумілі та виконані навченим персоналом, де це можливо, щоб звести до мінімуму потребу в зовнішніх або спеціалізованих експертах. Загалом краще контролювати показник, який є простим і дешевим для вимірювання на багатьох об'єктах, ніж такий складний і дорогий, що його можна дозволити лише на одному чи двох об'єктах. Вимірювання випаровування з багатьох відкритих чашок Петрі в печері, наприклад, може дати кращу картину проблем висихання, ніж один гідротермограф в одному місці.

Моніторинг також вимагає розгляду тиражування, частоти та вартості. Частий моніторинг однієї ключової місцевості є кращим, аніж періодичний моніторинг багатьох місцевостей. Моніторинг ключових локацій або на ключових ділянках слід проводити так часто, як це необхідно, щоб оцінити ефективність управління в мінімізації впливу. Однак слід уникати високочастотного моніторингу у вразливих зонах, якщо це не критично необхідно, оскільки це може спричинити власний вплив. Автоматизований моніторинг, якщо це можливо, має бути пріоритетним. Слід розробити протоколи моніторингу кожного показника.

### Деякі найкращі практики моніторингу

#### Якість і кількість води

Потоки, водосховища, які забезпечують локальне живлення (місця входу), а також джерела та колодязі (місця виходу) повинні використовуватися як станції моніторингу якості та кількості води в карстових районах. Якщо дозволяють ресурси, слід проводити безперервний моніторинг на основі подій. Відносно недорогі реєстратори даних доступні на ринку для безперервного вимірювання ключових параметрів: глибини води (яку можна перетворити на витрату, якщо встановлено рейтингову криву), температури, розчиненого кисню, електропровідності (сурогату загальної кількості розчинених твердих речовин) і каламутності (сурогату завислих речовин). Інші параметри, такі як поживні речовини, метали, вуглеводні, органічні забруднювачі та бактерії, більше підходять для моніторингу на основі подій, оскільки вони

зазвичай вимагають спеціальних лабораторій і дороги для вимірювання. Концентрації зазвичай найвищі в періоди малого стоку, і це може становити особливу загрозу для водних організмів, але саме під час дощів і повеней переноситься найбільше навантаження (концентрація, помножена на скиди) більшості забруднювачів і опадів. Більш загальну оцінку стану печерних потоків і поверхневих вод можна отримати шляхом моніторингу біологічних показників: якості води, чисельності вразливих видів із низькою толерантністю до забруднення (наприклад, водні макробезхребетні, комахи, хробаки, равлики, ракоподібні, деякі види риб).

## Стан рослинності

Підтримання та покращення стану місцевої рослинності часто є пріоритетом для карстових природоохоронних територій. Моніторинг стану рослинності необхідний для відстежування прогресу в досягненні цілей управління. Двома основними підходами до моніторингу стану рослинності є оцінка на місцевості та методи дистанційного зондування. Місцеві методи вимірювання лісу та обліку вуглецю можуть бути легко застосовані на великій кількості ділянок, а місцевих рейнджерів і землевласників можна навчити їх виконувати. Дистанційне зондування все більше використовується для моніторингу стану рослинності через його перевагу в тому, що воно пропонує широкомасштабні, автоматизовані та повторювані методи. Він добре підходить для виявлення змін у стані рослинності. Низка показників з екології рослин мають дистанційно визначені проксі-міри, такі як індекс нормалізованої різниці червоного краю (NDRE), який забезпечує міру фотосинтетичної активності. Поширення чагарників також можна оцінити за допомогою заходів щодо постійного зеленого покриття.

## Печерна атмосфера

Моніторинг клімату та атмосфери в показових печерах часто здійснюється за допомогою автоматичних метеостанцій з електронними датчиками та реєстраторами даних. Станції моніторингу повинні бути розташовані на ключових або чутливих ділянках. Показники, що підлягають вимірюванню, містять барометричний тиск, температуру, вологість, CO<sub>2</sub>, потік повітря та випаровування. Вимірювання концентрації радону зазвичай вимагається як частина режиму охорони здоров'я та безпеки показових печер. Метою цих вимірювань має бути підтримка атмосферних умов якомога ближче до природних базових значень або можливість швидкого відновлення умов до базових значень після відвідування.

## Печерна фауна

Там, де існує цінна печерна фауна, особливо рідкісні або ендемічні види, слід контролювати їх присутність і чисельність. Видами-індикаторами для моніторингу можуть бути троглобіонти або стигобіонти, які часто є ендемічними видами і найбільш уразливими. Однак «ключові» види, такі як кажани, стрижі та печерні цвіркуни, також слід розглядати як види-індикатори через їхню важливість у принесенні їжі в печеру, від якої залежать інші організми. В ідеалі види ключових каменів, обрані як індикатори, повинні бути в достатку та широко поширені в печері(ах). Деякі троглобіонти, такі як *Collembola*, можуть бути корисними індикаторами дисбалансу поживних речовин у печерній системі.

## Спелеотеми та відкладення

Спелеотеми та печерні відкладення часто зазнають прямого впливу відвідувачів диких печер, а в екскурсійних печерах може впливати зростання лампенфлори. Фотомоніторинг є ефективним способом фіксації стану спелеотемів і виявлення впливів. Спелеотеми та відкладення слід вибирати для фотомоніторингу, виходячи з того, що вони мають особливу наукову чи естетичну цінність або знаходяться у вразливому місці, наприклад, поблизу печерної стежки. Фотомоніторинг передбачає фотографування вибраних спелеотемів або відкладень із фіксованого положення та з фіксованими налаштуваннями камери та освітлення, щоб фотографії можна було точно відтворити та порівняти з часом для оцінки впливу відвідувачів. Фотомоніторинг слід проводити з частотою, яка відповідає кількості відвідувачів та їх потенційному впливу. Інтервал моніторингу в один рік може бути прийнятним для багатьох печер. Нові методи, такі як лазерне сканування (LIDAR), є перспективними для використання в моніторингу. LIDAR створює детальне тривимірне зображення печери, яке можна використовувати як базову лінію для виявлення змін у спелеотемах або відкладах, а також інших антропогенних змін у печерному середовищі. Такий самий підхід можна також застосувати на поверхні за допомогою повітряного ЛІДАРу.

## Зміна клімату та екстремальні події

Наслідки зміни клімату вже очевидні та стануть значними для багатьох карстових територій. Зростання частоти та характеру екстремальних подій, таких як повені, посухи та лісові пожежі, є найскладнішою тенденцією зміни клімату. Моніторинг метеорологічних та гідрологічних параметрів - температури повітря, кількості опадів, температури прісної води, витрати води річками та джерелами, рівня озера та підйому ґрунтових вод - є пріоритетними для виявлення та реагування на зміни клімату. Поступове, тривале підвищення температури повітря та екстремальні температурні явища (хвилі спеки) зазвичай

сповільнюються в середовищі печер. Навпаки, вплив екстремальних гідрологічних явищ, таких як повені та посухи, швидко передається від поверхні до підземних (печерних) середовищ у карстових гідрологічних системах. Моніторинг цих параметрів забезпечує основу для розробки систем раннього попередження про екстремальні події, такі як повені та лісові пожежі. Крім того, можна визначити біологічні та екологічні індикатори зміни клімату. Приклади включають зміну часу фенологічних подій, таких як розпускання листя та цвітіння рослин, а також зміни часу та діапазону міграцій у видів тварин, таких як птахи та кажани.

### *Пом'якшення антропогенного впливу*

Якщо моніторинг виявляє загрози або впливи на ключові печерні чи карстові ресурси, необхідно вжити адміністративних заходів для пом'якшення подальшої шкоди. Для загроз або впливу від відвідування людьми існують різні стратегії, щоб досягти цього, наприклад, обмеження доступу до чутливих зон (зонування), зменшення кількості та частоти відвідувачів, позначення бажаних маршрутів через дикі печери, створення доріжок із огорожею та вимоги гідів для супроводу відвідувачів.

У разі пошкодження печерних ресурсів правильне управління вимагає відновлення пошкоджених елементів, наскільки це практично можливо. Існують різноманітні методи реставрації печерних ходів і спелеотемів, а також видалення графіті, ворсинок, пилу та лампенфлори (див. Показові печери).

Часто поверхнева діяльність, така як розробка кар'єрів, перетворюється на підземний вплив. Відновлення поверхневого карсту після розробки кар'єрів може бути дорогим і трудомістким. Основні питання відновлення включають відновлення цілісності підземного дренажу, якості води та біології печери. Другорядною метою має бути підтримання високого ступеня взаємопов'язаної вторинної пористості в кар'єрі для ефективного поповнення та максимально імітувати оригінальний карстовий дренаж та його рослинний покрив.



*Відновлений вапняковий кар'єр після двадцяти років, Тасманійська пустеля Всесвітньої спадщини. Під час реконструкції кар'єр було розділено на декілька невеликих замкнутих дренажних басейнів, кожен з яких має карстовий поглинач або інфільтраційну зону. Кожна раковина була захищена фільтровальною конструкцією, а на ділянках під глиняними вентиляторами були встановлені додаткові конструкції для обмеження руху осаду після дощу. Після цього буде проведено гідромумчування та ретельне відновлення рослинності. Фото Девіда Гіллісона.*

Ось деякі основні принципи реабілітації карсту:

- Підтримувати або відновлювати природні системи та процеси, наскільки це можливо. Якщо потрібне втручання, природні рішення, які працюють у гармонії з природними процесами, є більш екологічно стійкими та ефективними, ніж інженерні рішення, спрямовані на контроль або зупинку природних процесів. Підтримка або відновлення природних режимів течії річок, струмків і джерел має вирішальне значення, наприклад, для

карстових систем. Також важливо відновити потік перколяційної води та підживлення підземних вод там, де ґрунт або відкладення на карсті були ущільнені.

- Бажано усунути всі джерела забруднення, як поверхневі, так і підземні. Це може включати регулювання землекористування та діяльності вище за течією печер або карстових територій, розкопки та видалення забруднених відкладень, змив забрудненої води чи відкладень із печер або біоремедіацію з використанням мікроорганізмів чи рослин. Це дорогий процес, і часто частину витрат доведеться нести державним установам, відповідальним за екологічний менеджмент.
- Потрібно контролювати активну ерозію ґрунту та запобігати надходженню опадів у підземну карстову систему. Це може включати відновлення рослинності, стабілізацію крутих схилів або будівництво контурних берегів.
- Слід обмежити інтенсивне використання підземних вод (іноді для сільськогосподарських цілей) у районах вище за течією, оскільки це знижує рівень ґрунтових вод і може зменшити стік підземних річок, впливаючи на фауну водних печер.
- Рекомендовано сприяти активній ґрунтовій екосистемі. Такі безхребетні, як дощові черв'яки, мурахи та терміти, ефективні в розщепленні органічного матеріалу, біотурбації реголіту та покращенні текстури ґрунту та стану поживних речовин.
- Необхідно створити стійкий рослинний покрив, бажано з місцевих багаторічних рослин. Постійна рослинність ефективно контролює ерозію ґрунту, підвищує біологічну активність ґрунту та є естетично привабливою. Однак рослинність також впливає на концентрацію вуглекислого газу в ґрунті та використовує воду, тим самим зменшуючи поповнення. Таким чином, можливий ненавмисний вплив на ріст спелеотемів.
- Потрібно слідкувати за змінами над і під землею. Успіх реабілітації можна оцінити регулярним відбором зразків карстових вод. Відбір зразків повинен ґрунтуватися на подіях, щоб урахувати збільшення перенесення опадів і розчинених речовин під час злив.
- Слід залишити місцевість у спокої, якщо щось не піде не так. Є велика спокуса втрутитися в реабілітацію, коли процеси йдуть повільно. Відновлення рослинності слід оцінювати лише через мінімум два роки, коли відбулося достатнє прикорінення та зростання. Для багатьох карстових територій, особливо там, де біологічні процеси обмежені кліматом, часові рамки відновлення можуть вимірюватися десятиліттями

## Тези

- (66) Моніторинг є важливим інструментом в адмініструванні та захисті печер і карстових ресурсів, особливо в заповідних територіях. Результати поточного моніторингу можуть бути використані для інформування адміністративних органів та з метою пом'якшення антропогенного впливу.
- (67) Зусилля з моніторингу мають бути зосереджені на визначенні пріоритетів природних ресурсів на основі їхньої цінності, значущості, вразливості, крихкості, серйозності фактичних чи очікуваних загроз або впливу.
- (68) Забруднення ґрунтових вод створює особливу проблему в карсті, і його слід завжди мінімізувати та контролювати. Цей моніторинг має базуватися на подіях, а не просто виконуватися через регулярні проміжки часу, оскільки концентрації розчинних речовин і хімічних забруднювачів зазвичай найвищі в періоди низької води, однак саме під час злив і повеней найбільше забруднювачів переноситься через карстову систему.
- (69) Уникайте високочастотного моніторингу у вразливих зонах, якщо це не конче необхідно, оскільки власне це може негативно вплинути. Автоматизований моніторинг, якщо це можливо, має бути пріоритетним.
- (70) Правильні адміністративні органи мають визнавати невідновлювальну природу багатьох карстових об'єктів, особливо в межах печер, тому доцільно вимагати, аби пошкоджені об'єкти реставрувалися, наскільки це можливо на практиці.
- (71) Наскільки це можливо, природні системи та процеси в карстових районах слід підтримувати або відновлювати. Якщо потрібне втручання, перевага надається використанню природних рішень, особливо

*тих, які працюють у балансі з природними процесами та характеризуються як більш екологічні та стійкі, ніж інженерні рішення.*

## Планування управління природоохоронними карстовими територіями

Планування управління територією, що охороняється, є ключовим заходом, що допомагає визначити та досягти ідеального стану, а також забезпечити використання фінансових, людських та інших ресурсів території, що охороняється, для вирішення пріоритетних питань управління. Розробка плану управління знаменує собою важливу віху в процесі планування та нарощування потенціалу, залучаючи різні державні установи та зацікавлені сторони, відповідальні та зацікавлені в охоронюваній території та її найближчому оточенні. Плани управління мають бути зафіксовані в документах, які визначають ключові характеристики або цінності заповідної території з чітким встановленням цілей управління, які мають бути досягнуті, та рекомендаціями до дій, які мають бути здійснені, щоб забезпечити захист природоохоронних цінностей заповідної території.

Для того, щоб управління карстовою системою було доцільним та ефективним, планування управління карстовими природоохоронними територіями має враховувати особливу природу карсту порівняно з іншими типами ландшафту та екосистемами. Це більш детально обговорюється в Особливій природі карстових середовищ і печерних систем, з кількома ключовими моментами, викладеними нижче:

- Цілісність карсту безпосередньо залежить від збереження природної гідрологічної системи. Таким чином, потреба в повному управлінні водозбірним басейном є життєво необхідною для карстових ландшафтів. Ключовими питаннями управління всіма карстовими територіями є захист долин або тріщинуватих ділянок, які забезпечують локальне живлення та управління якістю води аlogenних потоків, що стікають у карст. Гідрогеологічна карта є цінним інструментом для управління карстовими природоохоронними територіями, висвітлюючи водозбірні території, важливі для управління та охорони.
- Карстові екосистеми є крихкими – умови навколишнього середовища на поверхні можуть бути екстремальними (посушливі, вапнякові), а в тих областях, де немає поверхневих аlogenних відкладень, ґрунти, як правило, неглибокі, кам'янисті та легко піддаються ерозії. Підземна екосистема є особливо делікатною, оскільки в основному залежить від потоків енергії, що передається з поверхні водою, якість якої критично важлива для виживання.
- Карст є надзвичайно складним, оскільки він містить як поверхневі, так і підземні особливості та цінності, а також об'єднує поверхневі та підземні біофізичні процеси. Через високий ступінь взаємозв'язку карстових екосистем прямий вплив на один елемент карстової екосистеми може мати серйозні непрямі наслідки для інших елементів або всієї карстової екосистеми. Таким чином, для захисту природних ресурсів і біорізноманіття в карсті необхідний цілісний підхід.

Більшість вправ з планування управління здійснюється через послідовність кроків, які надають структуру процесу та забезпечують логічний підхід. Оскільки необхідний ступінь захисту та управління різниться між різними категоріями природоохоронних територій, структура плану управління може бути гнучкою для задоволення різноманітних потреб. Приватні природоохоронні території можуть не залучати сторонніх осіб до планування управління, наприклад, або взагалі не вимагати плану управління. Якщо час або ресурси не дозволяють розробити повний план управління, простий, скорочений документ буде краще, ніж відсутність плану взагалі. Простий план управління буде простіший, швидший та дешевший у розробці й реалізації. Деталізація та складність можуть розвиватися поступово, коли план управління з часом оновлюється та з'являється більше ресурсів.

### *Етапи планування управління природоохоронними територіями (адаптовано від Thomas and Middleton, 2003)*

1. Етап попереднього планування – на цьому етапі визначається, чого досягне процес планування, як він буде здійснюватися, часові та бюджетні міркування та хто буде залучений. Рекомендується застосувати

міждисциплінарний та інклюзивний підхід, щоб об'єднати експертів і зацікавлених сторін, у тому числі місцеві громади, для обговорення майбутнього управління природоохоронною територією.

2. Збір даних, довідкове дослідження та початкова польова робота – планування та управління мають базуватися на надійних даних. Як перший крок, зберіть існуючу та довідкову інформацію, оскільки історичні дані та місцеві знання можуть бути неоціненними. Потім, за потреби, слід провести польову інвентаризацію, опитування та дослідження, щоб перевірити наявну інформацію та отримати будь-яку необхідну додаткову інформацію. Необхідно задокументувати зібрану інформацію у формі опису заповідної території.

Для карстових охоронюваних територій інструкції щодо збору інформації наведено в наступних розділах: “Деякі цінності карсту та печер”, “Особливий характер карстових середовищ і печерних систем”, “Рекреаційно-пригодницька спелеологія”, “Наукові дослідження”, “Сільське та лісове господарство”, “Водопостачання та залучення корінних народів до управління карстом”.

3. Оцінка зібраної інформації – на цьому етапі визначаються ключові особливості та виняткові цінності, які необхідно захистити, щоб зберегти значущість заповідної території. Оскільки дедалі більше уваги приділяється залученню місцевого населення та інших зацікавлених сторін до процесу планування, важливо мати механізм, за допомогою якого можна визначити та описати природні, культурні та соціально-економічні цінності, які вони мають для території. Розробка «заяви про важливість» пояснює важливість природоохоронної території для суспільства та розміщує природоохоронну територію в її контексті на регіональному, національному та міжнародному рівнях. Ключові характеристики, виняткові цінності та заява про важливість забезпечують важливу структуру, на якій має базуватися план управління.

Для карстових територій, що охороняються, вказівки щодо визначення ключових особливостей і виняткових цінностей надаються в наступних розділах: “Деякі цінності карсту та печер”, “Особливий характер карстових середовищ і печерних систем”, “Рекреаційно-пригодницька спелеологія”, “Наукові дослідження”, “Сільське та лісове господарство”, “Водопостачання та залучення корінних народів до управління карстом”.

4. Визначення обмежень, загроз і можливостей – перед визначенням конкретних цілей управління природоохоронною територією слід визначити обмеження в її управлінні, а також будь-які основні загрози для цінностей території. Деякі обмеження є функцією природного середовища, наприклад крихка та вразлива природа карстових екосистем. Загрози території, що охороняється, можуть бути спричинені людиною або природним шляхом, і можуть виникати з території, що охороняється, або з-за її меж. Слід також визначити можливості для позитивних змін, рекультивациі або відновлення заповідної території.

Для карстових територій, що охороняються, вказівки щодо визначення обмежень, загроз і можливостей надаються в розділах: “Деякі цінності карсту та печер”, “Особливий характер карстових середовищ і печерних систем”, “Рекреаційно-пригодницька спелеологія”, “Наукові дослідження”, “Сільське та лісове господарство”, “Водопостачання” та “Розвиток ефективного моніторингу та пом'якшення впливу”.

5. Розробка бачення управління та цілей – Процес планування управління повинен розробити та сформулювати заяву про бачення, яка описує ідеальний стан, стан або зовнішній вигляд природоохоронної території в майбутньому. Виходячи з бачення керівництва, цілі є більш конкретними заявами про наміри, що встановлюють умови, яких керівництво прагне досягти. Цілі повинні стосуватися ключових особливостей охоронюваних територій, визначаючи, як вони будуть збережені, а також інших важливих сфер управління та менеджменту, як механізми спільного управління, навчання та обізнаність щодо збереження.

Для карстових охоронюваних територій керівництво щодо бачення та цілей управління надається в розділах: “Деякі цінності карсту та печер”, “Особливий характер карстових середовищ та печерних систем”, “Масштаби управління в карстових районах”, “Рекреаційно-пригодницька спелеологія”, “Показові печери”, “Сільське і лісове господарство”, “Водопостачання”, “Розвиток ефективного моніторингу та пом'якшення впливу”, а також “Залучення корінних народів до управління карстом”.

6. Визначення та оцінка варіантів управління, включаючи зонування. Коли цілі управління встановлені, наступним кроком є визначення способу досягнення цілей. Оскільки часто існує кілька способів, якими це можна зробити, слід визначити діапазон варіантів управлінських дій і вибрати відповідні. Зонування є широко використовуваним інструментом для досягнення цілей управління. Зони визначаються територіями, де різні стратегії управління та

використання найкращим чином сприятимуть досягненню цілей заповідної території. Зонування можна використовувати для забезпечення захисту критичних середовищ існування та місць: улоговини, струмки, печери та джерела. Класифікація печер у карстових природоохоронних територіях за різними рівнями охорони та використання є ефективною формою зонування.

Для карстових охоронюваних територій вказівки щодо варіантів управління надані в розділах: “Деякі цінності карсту та печер”, “Особливий характер карстових середовищ і печерних систем”, “Масштаби управління в карстових зонах”, “Рекреаційно-пригодницька спелеологія”, “Показові печери”, “Сільське та лісове господарство”, “Водопостачання”, “Розвиток ефективного моніторингу та пом’якшення впливу” та “Залучення корінних народів до управління карстом”.

7. Підготовка проекту плану управління – інтеграція всіх вищевказаних елементів планування в єдиний документ – призведе до реалізації цього проекту. Незважаючи на відсутність стандартизованого формату для планів управління, вони, як правило, містять певні стандартні елементи. Вони починаються зі вступу до природоохоронної території та обговорення її важливості та факторів, що впливають на неї, проводять читача через формулювання бачення її майбутнього управління та закінчують діями управління, в яких описується, як це бачення буде досягнуто, і як менеджери а інші оцінять ефективність плану до кінця його життя.

Основний формат планів управління природоохоронними територіями наведено в розділі: Основні елементи плану управління.

8. Громадські консультації щодо проекту плану управління – можливість для зацікавлених сторін і широкої громадськості переглянути проект плану управління та надати коментарі. Це є життєво важливим кроком у процесі планування управління. Ці люди включають місцеві громади, посадових осіб місцевого самоврядування, представників неурядових організацій, комерційних інтересів, груп користувачів, зацікавлених осіб та персонал самої природоохоронної території. Ці групи матимуть почуття власності та більшу відданість цілям і діям управління, якщо вони матимуть можливість брати участь у процесі планування. Рівні участі різних груп можуть бути різними: від отримання інформації та надання зворотного зв’язку до активної участі у спільному управлінні територією, що охороняється.

Для карстових охоронюваних територій рекомендації щодо консультацій з громадськістю та залучення громади наведені в розділі «Залучення корінних народів до управління карстом».

9. Перегляд проекту та виготовлення остаточного плану управління – цей крок передбачає перегляд проекту плану управління з урахуванням коментарів, отриманих від зацікавлених сторін та громадськості. Усі отримані письмові коментарі та коментарі, записані на публічних зборах, слід враховувати. Може бути корисним підготувати звіт про консультації, який супроводжуватиме остаточний план, у якому буде детально описано, як були враховані отримані коментарі та чому деякі коментарі не були використані. Це допоможе зацікавленим сторонам і громадськості зрозуміти остаточну версію плану та оцінити, як було обрано включені управлінські заходи.
10. Затвердження плану управління – це процедурний крок, який передбачає подання остаточного плану для затвердження відповідним органом. Процедури відрізнятимуться від країни до країни, але в більшості випадків буде формальний процес ухвалення або затвердження для надання повноважень плану.
11. Реалізація плану управління – план управління встановлює дії, які необхідно здійснити для досягнення цілей і досягнення бачення природоохоронної території. У багатьох випадках план управління є основою для підготовки річних оперативних планів природоохоронної території. Якщо існує система спільного управління, план управління повинен визначати ролі та обов’язки різних зацікавлених сторін у здійсненні управлінських заходів.
12. Моніторинг і оцінка. У процесі реалізації моніторинг і перевірка забезпечать систему зворотного зв’язку для керівництва. Цілі цього кроку: 1) визначити, чи ефективно реалізується план управління та досягаються цілі, 2) вивчити результати спостереження за впливами управління та 3) відповідно адаптувати дії управління. Там, де

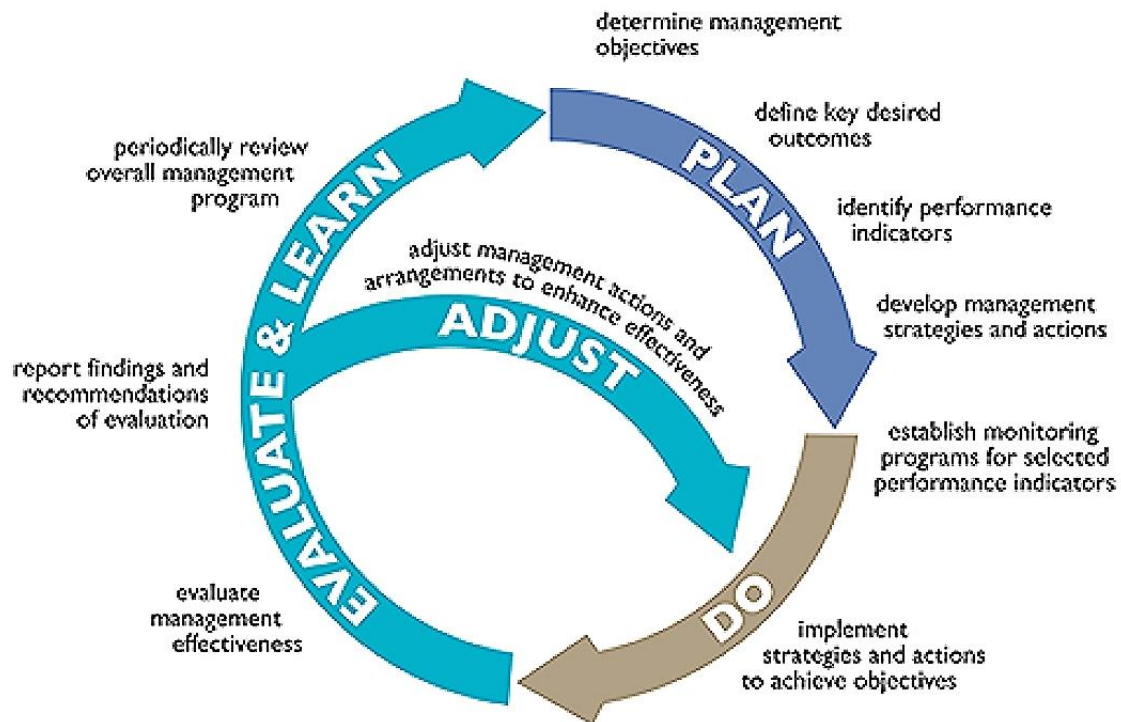
впровадження стикається з проблемами, моніторинг і перегляд можна використовувати для перерозподілу ресурсів і зусиль для покращення впровадження.

Для карстових територій, що охороняються, вказівки щодо моніторингу та перегляду надаються в “Розробці ефективного моніторингу та пом’якшення впливу”..

13. Рішення про перегляд та оновлення плану управління – останнім кроком у процесі планування є прийняття рішення про перегляд або оновлення плану управління. Важливо переконатися, що зворотній зв’язок від моніторингу та оцінки використовується для коригування розробки оновленого плану. Рекомендується оновлювати плани управління принаймні кожні десять років. У багатьох випадках план управління буде обмежений законодавством за часом, як правило, п’ятьма або десятьма роками. В ідеалі рішення про оновлення



плану управління приймається з достатнім часом, щоб новий план був на місці до закінчення терміну дії старого плану.



*Схема процесу управління, що використовується в об'єкті Всесвітньої спадщини Тасманії, Австралія.*

### *Основні елементи плану управління*

Резюме – тут підсумовуються важливі елементи плану управління таким чином, щоб читачі могли швидко ознайомитися з планом без необхідності читати всі супровідні деталі. Це корисно для адміністраторів високого рівня, які можуть не мати часу прочитати весь документ.

Вступ – Тут зазначається мета та обсяг плану, а також підстави, на яких було визначено охоронну територію, її поточний статус і повноваження щодо розробки плану. Він може містити деяку базову коротку інформацію про охоронювану територію, таку як її розташування, розмір, первинні ресурси та цінності.

Опис території, що охороняється – тут підсумовується відповідна описова інформація про ресурси на території, що охороняється, та навколо неї:

- Історичний – інформація про об'єкт та його попереднє використання та управління.
- Біологічні – спільноти, середовища проживання, флора і фауна.
- Фізичні – клімат, гідрологія, геологія, геоморфологія та ґрунти.
- Культурно-естетичний – особливості ландшафту, археологія та культурні асоціації.
- Соціально-економічні – демографія місцевих громад та поточне використання ними природних ресурсів у межах заповідної території.

Оцінка заповідної території містить визначення ключових характеристик та виняткових цінностей, які необхідно захистити, щоб зберегти значимість заповідної території:

- Видатні приклади природних, культурних, наукових і рекреаційних цінностей, в тому числі знакові печери та інші карстові об'єкти.
- Рідкісна та ендемічна флора і фауна, як поверхнева, так і підземна.
- Археологічні, історичні чи культурні об'єкти, як поверхневі, так і підземні.
- Території та ресурси, життєво важливі для місцевих громад, як економічно, так і культурно.
- Території, необхідні для захисту цілісності охоронюваної території в цілому, такі як раковини струмків, джерела та водозбірні території вище за течією заповідної території.

Аналіз обмежень, загроз і можливостей – аналіз обмежень, загроз і можливостей, що впливають на охоронювану територію, її збереження та управління. Необхідно вказати будь-який поточний або попередній вплив на ключові характеристики та цінності території разом з будь-якими іншими міркуваннями управління.

- Обмеження – такі як управління водозбірними територіями вище за течією від межі охоронної території.
- Загрози, такі як незаконне полювання або колекціонування рідкісних або ендемічних тварин і рослин, злам або крадіжка спелеотемів або печерних мінералів, пограбування або порушення археологічних або культурних об'єктів, вплив клімату та екстремальних подій, таких як повені та лісові пожежі.
- Можливості – наприклад, видалення джерел забруднення або відновлення деградованих середовищ існування та природних процесів.

Бачення та цілі – формулювання бачення, яке описує ідеальний стан або стан природоохоронної території в майбутньому. Далі слідує набір цілей, які являють собою конкретні твердження, що окреслюють те, що має бути досягнуто керівництвом у часові рамки плану. Цілі повинні стосуватися ключових особливостей території, що охороняється, визначаючи, як вони будуть збережені, а також інших важливих сфер управління та менеджменту, таких як механізми спільного управління, навчання та обізнаність щодо збереження.

План зонування – можна підготувати план зонування з картами, щоб проілюструвати межі, класифікацію та управління, а також види діяльності, дозволені або заборонені для кожної зони. Багато природоохоронних територій мають повністю охоронювану зону для збереження природи, зони для відвідувачів для основних визначних пам'яток, як печери, мальовничі оглядові майданчики і зони контрольованого використання для сталого видобутку природних ресурсів місцевими громадами. Зонування можна використовувати для забезпечення захисту критичних середовищ існування та місць, таких як раковини струмків, печер і джерел, а також для відновлення та реставрації деградованих територій. Класифікація печер у карстових природоохоронних територіях за різними рівнями охорони та використання демонструє ефективну форму зонування. Зонування можна використовувати в межах печер, коли різні проходи мають різні рівні захисту та доступу, залежно від вразливості ресурсів і небезпек.

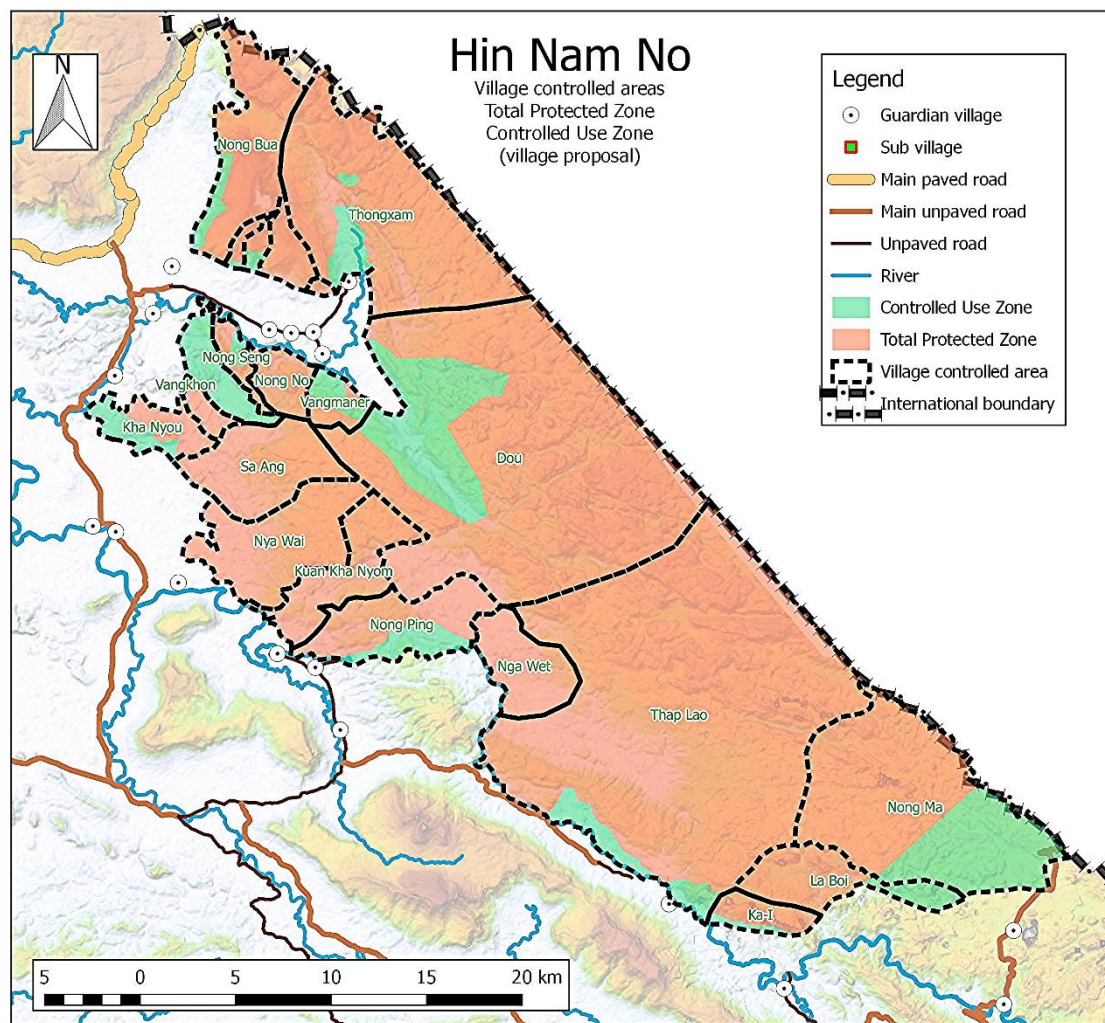
Дії управління – конкретні дії, які необхідно виконати для досягнення цілей, із визначеними пріоритетними видами діяльності, а також ролями та обов'язками різних зацікавлених сторін. Деталі можуть бути надані в окремому річному операційному плані. Окремі плани управління можуть бути розроблені для деяких дій або об'єктів, наприклад, для

печер-видовищ або печер пригод, або для управління зміною клімату та її наслідками. Ці допоміжні плани можуть мати ті самі основні елементи, що й цей приклад. Дії управління можуть містити:

- Біорізноманіття та управління георізноманіттям.
- Управління водозбірним басейном.
- Культурний менеджмент.
- Відновлення деградованих ресурсів.
- Управління відвідувачами та відповідна інфраструктура.
- Поінформованість про збереження та охоплення..
- Моніторинг.
- Наукове дослідження.
- Розвідка та обстеження печер.
- Патрулювання та правоохоронні органи.
- Системи раннього попередження, реагування на катастрофи та порятунку.
- Розвиток життєдіяльності села.
- Навчання та адміністрування.

Моніторинг і перегляд – у цьому розділі описано, як здійснюватиметься моніторинг виконання плану управління, а також коли та як буде здійснюватися перегляд плану. Він повинен містити індикатори, за якими буде вимірюватися ефективність охоронної території. Зусилля з моніторингу мають бути зосереджені на визначенні пріоритетів природних

ресурсів на основі їхньої цінності чи значущості, їхньої вразливості чи крихкості та серйозності фактичних чи очікуваних загроз чи впливу.



Зонування з метою управління карстом, Національний парк Хін Нам Но, Лаос. Карта Ронні Доббельштейна

## Залучення корінних народів до управління карстом

Історично заповідні території, створені та керовані державними органами, були основним механізмом збереження світових карстових ресурсів. Однак досвід показує, що конфлікти зазвичай виникають між тими, хто живе на території, що охороняється, або поблизу неї, та установами, яким доручено керувати цими територіями. Якщо більша чи вся земля на території, що охороняється, належить державі чи громадським органам, можливий більший ступінь контролю за землекористуванням, але якщо земля перебуває у приватній власності, це може бути складніше. У розвиненому світі місцеві громади зазвичай беруть участь у процесі прийняття рішень, наприклад, через місцевих обраних представників у радах управління або через місцеві консультації зі спірних питань. У цьому відношенні немає великої різниці між природоохоронними територіями, які містять карст і печери, та територіями, які охороняються з огляду на інші цінності. Однак у 21 столітті нашої ери зростає занепокоєння щодо управління територіями, де проживає значна кількість корінних народів.

Залучення корінних народів до управління всесвітньою спадщиною стає все більш пріоритетним. Починаючи з 2005 року, Оперативні принципи всесвітньої спадщини ЮНЕСКО (параграф 40) сприяють «партнерському підходу до номінації, управління та моніторингу». Ці керівні принципи були переглянуті та розширені в 2017 році, причому активна участь корінних народів в управлінні всесвітньою спадщиною вважається важливою та веде до передового досвіду управління. У 2015 році Комітет Всесвітньої спадщини заснував Міжнародний форум корінних народів зі всесвітньої спадщини. Метою цього форуму є підвищення ролі корінних громад у «виявленні, збереженні та управлінні об'єктами всесвітньої спадщини», і він проводиться щороку одночасно із засіданням Комітету всесвітньої спадщини. У 2018 році ЮНЕСКО схвалила свою політику взаємодії з корінними народами 201EX/6. Цей важливий документ включає роль корінних

народів у збереженні природної та культурної спадщини та стосується всіх заходів, які підтримує ЮНЕСКО, а не лише Всесвітньої спадщини. Таким чином, планування управління має враховувати традиційні або місцеві системи управління, які використовуються корінними народами. Може існувати право власності на землю відповідно до звичаєвого права, яке зберігалось протягом століть. Це може формально не визнаватися чи навіть не бажатися національним урядом, але все одно існує зобов'язання чітко це враховувати.

У цьому розділі ми надаємо чотири приклади управління карстовими природоохоронними територіями, у плануванні та управлінні якими з самого початку були залучені корінні народи. З цього можна багато чому навчитися, і багато чому ще належить навчитися, оскільки відносини розвиваються та дозрівають.

### *Національний парк "Хін Нам Но" - Лаос: Спільне управління в дії*



*Сільські гіди з надувним човном, який використовується для екскурсій по печерах, Національний парк Хін Нам Но, Лаос. Фото Террі Болджера.*

Хін Нам Но — охоронювана карстова територія в центральному Лаосі, яку готують до номінації природного об'єкта Всесвітньої спадщини. Територія містить полігональний карст і становить 94 тис. га. Найбільша в світі річкова печера Се Банг Фай є важливою особливістю цього регіону, і її все частіше відвідують туристи-любители. Проте через обмежені фінансові та людські ресурси бракує можливостей та інформації для ефективного управління та моніторингу природоохоронної території. У відповідь на це для Хін Нам Но було створено систему спільного управління (співуправління), в якій місцеві громади відіграють активну роль і мають більше повноважень і відповідальності в

управлінні природними ресурсами, від яких вони залежать. Таким чином, існує спільна мета збереження біорізноманіття та георізноманіття, а також подолання бідності в районі Хін Нам Но.

Навколо Хін Нам Но розташовано 18 сіл-охоронців, у яких проживає близько 8000 людей із семи етнічних груп. Розвиток успішного спільного управління вимагає, щоб і селища-охоронці, і державні установи взяли на себе відповідні та чітко визначені ролі та обов'язки щодо збереження та захисту.

Було визначено та впроваджено п'ять «будівельних блоків» моделі спільного управління в національному парку Хін Нам Но:

1. Оцінка врядування шляхом консультацій за участю – базову оцінку врядування було здійснено на рівнях села, району та області. Намір полягав у тому, щоб задокументувати поточний статус управління та управління національним парком Хін Нам Но. Результати оцінки згодом привели до узгоджених необхідних втручань і стали частиною плану спільного управління Хін Нам Но.
2. Створення спільного управління та структури управління – Потрібна правова та політична основа (національний рівень) для створення спільної системи управління. Було створено комітет спільного управління Хін Нам Но. Основними зацікавленими особами та правовласниками комітету є старости сіл (із звичаєвими правами) та органи управління охоронюваними територіями, а вторинними зацікавленими сторонами є зацікавлені (районні) державні установи, такі як правоохоронні органи, сільське господарство та туризм..



*Персонал заповідної території та сільські гіді в національному парку Хін Нам Но, Лаос. Фото Террі Болджера.*

3. Спільне зонування землі на основі традиційних знань і звичаєвих прав – Національний парк Хін Нам Но було розділено на зони для патрулювання кожним охоронним селищем на основі використаних стежок і звичаєвих прав сіл. Території також були розподілені як зони контрольованого використання (CUZ) для сталого видобутку природних ресурсів селами-охоронцями на основі територій, що традиційно використовувалися для цієї мети.

CUZ складають 14% площі національного парку Хін Нам Но. Решта 86% території Хін Нам Но віднесено до зони, що повністю охороняється, для збереження природи.

4. Угоди про спільне управління – розроблені між комітетом спільного управління Hín Nam No та кожним селищем-охоронцем, угоди про спільне управління передбачають правила використання природних ресурсів із CUZ, а також угоди про розподіл вигод щодо патрулювання, правоохоронних та туризм.
5. Необхідно залучати місцевих жителів до діяльності з управління охоронюваними територіями – приблизно 120 сільських рейнджерів із 18 сіл-охоронців отримують гроші за регулярні поїздки на охоронювану територію разом із персоналом національного парку Хін Нам Но для реєстрації спостережень дикої природи та загроз, а також за участь у патрулюванні правоохоронних органів . Сільські рейнджери допомагають дослідницьким місіям у національному парку Хін Нам Но, де їхні місцеві знання про карст, печери, ліси та стежки безцінні. У кількох селах-охоронцях є близько 35 сільських гідів з екотуризму, які займаються туристичною діяльністю. Вони проводять екскурсії до печери Ксе Банг Фай та кількох інших печер, а також організують прогулянки вражаючим карстовим ландшафтом національного парку Хін Нам Но.

Будівельні блоки 3, 4 і 5 (вище) є особливо сильними компонентами системи спільного управління – вони базуються на існуючій традиційній системі управління ресурсами, а не створюють нову систему управління, яка підриває традиційні звичні підходи, ненавмисно породжуючи конфлікт. Така однорідність зі звичайними системами управління заохочує участь села, що є життєво важливим у місцях з низьким потенціалом уряду та бюджетом.

Відтоді як у 2014 році було розпочато спільне управління національним парком Хін Нам Но, ефективність управління підвищилася на 16%, завдяки значному покращенню технічного потенціалу та навичок управління. Щоб підтримувати цю систему спільного управління та, таким чином, захистити та зберегти карстові ресурси Національного парку Хін-Нам-Но, знадобиться подальша робота з підвищення потенціалу, впровадження планів управління, адаптивного управління та сталого фінансування.



*Відвідувачі на стежці та підвісному мосту, який є частиною карстового контуру в заповідній зоні Фу Фа Марн, Лаос.  
Фото Террі Болджера.*

### *Гаїда Гаваї, Британська Колумбія, Канада - люди Гаїда: шість етичних принципів*

Лісове господарство є одним із найпоширеніших видів землекористування в карсті Британської Колумбії (БК) і є прикладом того, чому продовжує існувати потреба в кращому розумінні карсту. Печери були основним напрямком захисту лісистих карстових територій до кінця 1990-х років, коли Міністерство лісів Британської Колумбії вперше оголосило про більш системний підхід до управління карстом. Зараз загально визнано, що будь-яка діяльність із землекористування чи розробки ресурсів, яка відбувається на карсту або поблизу нього, вимагає врахування впливу на навколишнє середовище на карстові системи, впливу на карстові водоносні горизонти та їх водозбірні басейни, а також потенційних геонебезпек, пов'язаних з карстом.

Інноваційний проект залучив традиційних власників на Haida Gwaii. Ці континентальні острови з природним парком Гвай-Ханас розташовані біля північно-західного узбережжя Британської Колумбії, на північ від острова Ванкувер. На островах і в печерах є дуже обширний хвойний лісистий карст з важливою науковою та культурною цінністю. Лісгосподарська діяльність вплинула на цілісність карстових і печерних ресурсів. Народ Гаїда Гаваї займав ці морські землі з незапам'ятних часів і встановив робочі відносини з урядовими установами на провінційному та національному рівнях.



Існує чітко сформульоване бачення землекористування, розроблене Радою старійшин Гаїда Гаваї. Це стосується не лише карстових територій, а й усього Гаїда Гаваї, в тому числі морської області.

Нижче наведено шість етичних норм і цінностей Гаїда, на яких базується це бачення, мовою Гаїда, а потім українською:

1. *Yahguudang* або *Yakguudang* – «Повага». Повага один до одного та до всього живого вкорінена в нашій культурі. Ми беремо лише те, що нам потрібно, ми дякуємо та відзначаємо тих, хто поводить відповідно.
2. *Giid tll'juus* – «Світ гострий, як лезо ножа». У нашій взаємодії з природним світом необхідний баланс. Якщо ми не будемо обережні у всьому, що робимо, ми можемо легко досягти точки неповернення. Наші практики та практики інших мають бути стійкими.
3. *Gina waadluxan gud ad kwaagiida* – «Все залежить від усього іншого». Цей принцип можна порівняти з комплексним підходом до управління.
4. *Isda ad diigii isda* – «Віддавати й отримувати». Дарувати й отримувати (взаємність) є шанованою практикою в нашій культурі, необхідною для нашої взаємодії один з одним і світом природи. Ми постійно дякуємо природному світу за дари, які отримуємо.
5. *Gina k'aadang.nga gii uu tl' k'anguudang* – «Шукаю мудру пораду» Наше старше покоління навчає нас традиційним способам і тому, як працювати в гармонії. Як ліс, сплелося коріння нашого народу. Разом ми розглядаємо нові ідеї та інформацію відповідно до нашої культури, цінностей і законів.
6. *'Laa guu ga kanhlins* – «Відповідальність». Ми приймаємо відповідальність, передану (нам) нашими предками, керувати морем і землею та піклуватися про них. Ми гарантуємо, що наша спадщина буде передана майбутнім поколінням.

Ці шість етичних принципів і цінностей втілені в робочому визначенні управління на основі екосистеми Гаїда:

«Повага є основою екосистемного управління. Воно визнає, що земля, море, повітря та всі живі істоти, включаючи людську спільноту, взаємопов'язані, і що ми несемо відповідальність за підтримку та відновлення балансу та гармонії»

Gwaii Haanas Gina 'Waadluxan KilGuhlGa Land-Sea-People Management Plan, 2018.

Існує резонанс між цими принципами Гаїда Гаваї та передовою практикою наукового менеджменту, як зазначено в таблиці нижче.

Порівняння Гаїда та наукових принципів екосистемного управління. З Ради нації Гаїда, 2007.  
Бачення землекористування Гаїда – Гаїда Гаваї ях'гууданг (з повагою до Гаїда Гаваї).

Принципи Гаїда	Паралельний науковий принцип	Можливі застосування
Повага	Запобіжний підхід	Облік благополуччя всіх видів; запобігати марнотратним методам рибальства, наприклад, прилову.
Баланс	Стале використання протягом тривалого терміну	Забезпечення сталого рибальства; розглядати екологічну та соціально-економічну інформацію
Взаємозв'язок (все залежить від усього іншого)	Інтегрований менеджмент	Прив'язка до рішень землекористування; розглянути сумісність морської діяльності та сукупний вплив розробок.
Давання та отримання (взаємність)	Справедливий розподіл	Цінувати невід'ємну цінність усіх живих істот у плануванні; розробити чесні та справедливі підходи до спільного використання обмежених ресурсів.

Пошуки мудрої поради	Адаптивне управління Найкраща інформація	Використовувати традиційні знання; покращити розуміння через дослідження, освіту та моніторинг
Відповідальність	Інклюзивність та участь	Повага до титулу та прав Гаїда; забезпечити достатній потенціал правозастосування

### *Гунунг Мулу, Саравак - народи пенан і бераван: підвищення обізнаності через освіту та навчання*



*Місцевий рейнджер парку біля входу в Оленьчу печеру (Мулу), фото Джона Ганна*

Карст Гунунг Мулу на півночі Сараваку містить одні з найдовших печер у південно-східній Азії. Мулу розташований приблизно в 100 км на схід від Мірі, прибережного міста. До невеликого містечка Мулу можна дістатися щоденним авіасполученням, а також до нього можна дістатися на човнах річками Барам і Тутто. Національний парк "Гунунг Мулу" займає площу 90 000 га, і більшість відвідувачів зосереджуються на найпівденнішому карсту, до якого можна дістатися зі штаб-квартири парку, що прилягає до міста. Понад 90% парку залишається невідвіданим і знаходиться в незайманому стані. НП "Гунунг Мулу" був об'єктом експедиції Королівського географічного товариства в 1978 році, і згодом товариство написало план управління парком у 1982 році. Після цього був розроблений новий план управління, який охоплював період 1992–1995 років, а подальші оцінки привели до Всесвітньої Номінації «Спадщина». У листопаді 2000 року парк було внесено до Списку всесвітньої спадщини, а згодом він став одним із найвідоміших національних парків Південно-Східної Азії та моделлю сталого розвитку, яку наслідували в інших країнах. Туристичній курортній фірмі Borsartulu Sdn. Bhd. було доручено розробити план стратегічного управління та укласти офіційну угоду з урядом щодо управління та розвитку Мулу як зразкового парку та демонстрації Сараваку та Малайзії. Починаючи з 2001 року інтерес до туризму швидко зростає, як і профіль міжнародного туризму. З ним прийшла відповідальність передати відвідувачам знання про Мулу, «щоб по-справжньому зрозуміти важливість», як звучить у слогані НП "Гунунг Мулу" ..

Однією з ключових вимог для постійного статусу всесвітньої спадщини є необхідність надавати правильну, науково точну інформацію відвідувачам і сприяти дослідженню. У поєднанні з цим існує необхідність розширення можливостей місцевої громади та надання значних можливостей для працевлаштування у цьому віддаленому районі. Відповідно до принципів Всесвітньої спадщини та плану управління, місцеве населення має бути підготовлено в якості гідів та перекладачів. Місцеві жителі вже мають почуття до лісу та дивовижні навички, але мовні недоліки та брак обізнаності у науковій сфері. Керівництво Національного парку "Гунунг Мулу" запровадило навчальну схему для підготовки нових гідів і підвищення кваліфікації вже існуючих гідів. Цей курс представлений модулями, що охоплюють карстові та печерні аспекти, а також ліси, повністю охоронювані території та пов'язані з ними постанови, біорізноманіття та георізноманіття.

Існує спеціальний розділ, присвячений роботі з клієнтами та представлення екскурсії як у показовій печері, так і в пригодницьких умовах.. Курс базової акредитованої першої допомоги зазвичай є частиною навчання.

Національний парк “Гунунг Мулу” потребує місцевої громади, а громада потребує парку. Виходячи з цього спільного припущення, Мулу можна вважати історією успіху, але для цього потрібна постійна робота. У 2021 році на підприємствах Мулу було зайнято 97% робочої сили на місцевому рівні. Ці виклики розвитку громади вирішуються з раннього дитинства в місцевій школі Batu Bunggan Primary, де призначений Мулу відповідальний за освіту та дослідження має честь працювати з місцевими дітьми. Для НП “Гунунг Мулу” школа є місцем, де всі місцеві жителі різних етнічних груп мають спільну мету – навчання дітей. НП “Гунунг Мулу” вважає це дуже практичним способом підвищення обізнаності та інтересу для майбутніх поколінь гідів та інших працівників парку.

НП “Гунунг Мулу” підходить як для м’яких, так і для більш екстремальних екскурсій. Зараз парк обслуговують 70 зареєстрованих гідів. Лише двадцять із цих гідів працюють безпосередньо. Решта - це гіді агентства або туроператори, а також частина позаштатних гідів. Це означає, що більшість гідів у НП “Гунунг Мулу” не працюють офіційно у парку та не підпадають під юрисдикцію Борсармулу, що часто ускладнює роботу. Ці екскурсоводи-фрилансери можуть відвідувати додаткові тренінги для гідів і робити це епізодично.



*Місцеві гіді ведуть відвідувачів до Sungei Lansat, національного парку “Гунунг Мулу”.. Фото Джона Ганна.*

### *Заповідник YUS, Папуа-Нова Гвінея: стале використання ресурсів*

Зона збереження Йопно-Урува-Сом (YUS CA) розташована в хребті Сарувагед у провінції Моробе в Папуа-Новій Гвінеї (PNG). Ці високі гори (більше 3500 м) містять обширні карстові ділянки, розвинені на шарах вапняків і аргілітів. Тут є численні печери, які мовами юпна та нунгана називаються макна. Печери мають ритуальне значення, а також використовуються як ночівлі та місця полювання на кажанів. Сільські громади в PNG ведуть переважно натуральний спосіб життя, покладаючись на свої природні ресурси та родючий ґрунт, як це робили їхні предки за покоління до них.

Однак лідери спільноти YUS помітили тривожні проблеми, з якими ніколи не стикалися попередні покоління: важливі ресурси стають дефіцитними.

«Нашим мисливцям доводилося долати більші відстані, щоб знайти тварин у лісі. Іноді нам доводилося полювати в районах, що належать іншим кланам, без їхньої згоди, тому що ми не могли знайти достатньо на нашій традиційній землі, щоб прогодувати наші сім'ї».

Метью Томбе, село Ісан, YUS.

Понад 90% земель PNG належать корінним жителям, тому підтримка місцевої громади є життєво важливою для захисту ландшафту YUS. Понад десять років Програма збереження деревних кенгуру співпрацює з селами над сталим управлінням цим ландшафтом і ресурсами, від яких залежать люди та дика природа. Щоб сприяти цьому, Карау Куна розробила Плани землекористування громади (LUP) з 50 селами, щоб забезпечити консенсус щодо використання ресурсів, який враховує як добробут людей, так і їхні пріоритети збереження.

YUS CA, опублікований у 2009 році, охоплює 76 000 га землі та складається із земельних ділянок, які були передані під заставу місцевими землевласниками та кланами в цьому районі для збереження біорізноманіття. Заповідна територія раніше була частиною традиційних мисливських угідь, які належать до п'яти мовних груп. Земля, передана під заставу, все ще перебуває у звичайній власності, але лісозаготівля та полювання зараз є технічно незаконними відповідно до Закону про збереження PNG (1978). Первинний ліс є домінуючою екосистемою в ландшафті YUS з охопленням до 70% природоохоронної території. Ліси переважають від рівня моря до 3100 м, а вище цієї висоти знаходяться альпійські луки. Ліси є критичним середовищем існування кенгуру Матчі, виду, що перебуває під загрозою зникнення, та інших деревних сумчастих тварин, а також райських птахів. Ці тропічні ліси також є важливим запасом вуглецю. Інші типи ґрунтового покриву в YUS включають часто спалювані антропогенні луки, порушені та вторинні ліси, а також суміш змінного та більш інтенсивного сільського господарства, тіньові плантації кави, плантації какао та дрібні агролісомеліораційні ділянки.

Проект YUS спрямований на збереження лісового вуглецю, ендемічного біорізноманіття та екосистемних послуг, а також на користь місцевих сільських громад із забезпеченням потоків доходу від сталої діяльності, яка мало впливає на традиційний спосіб життя. Інтеграція моделей сталого розвитку, які мають численні цілі, є головним викликом у плануванні землекористування. Спочатку на всіх територіях громади були проведені фасилітовані семінари, щоб залучити місцевих землевласників і дізнатися їхні прагнення щодо YUS CA. Зонування YUS CA на суворий заповідник, а також зони багаторазового використання та сільського виробництва було здійснено місцевими громадами, а потім нанесено на карту місцевими жителями за допомогою GPS і супутникових зображень. На території кожної громади місцеві жителі отримали роботу неповний робочий день в якості рейнджерів і працівників освіти. Було створено тіньові кавові плантації, а навчання лісництвоведенню надано американським маркетологом кави «Справедлива торгівля». Ця компанія також займається переробкою та маркетингом кави YUS як відмітного бренду «деревного кенгуру». Агролісомеліораційні ділянки були створені на антропогенних луках для збільшення доступних ресурсів деревини для селян. Інші ініціативи покращили доступ до школи та забезпечили медичне обслуговування в регіоні – обидві проблеми були визначені на семінарах.



*Долина Урува в заповідній зоні Йопно-Урува-Сом, з польового табору Васаунон. Альпійські пасовища на карсті лежать над верхнім гірським лісом, з нерегулярною нижньою межею до очищених територій навколо сіл. Фото Девіда Гіллісона.*

Велика ініціатива, фінансована німецьким банком розвитку KfW Bankengruppe, оцінювала запаси вуглецю за допомогою методології REDD+ (див. Інтернет-ресурси) для різних типів ґрунтового покриву в YUS. Ці оцінки доповнили картографування рослинності за допомогою дистанційного зондування та польових досліджень регіону. Цей проєкт забезпечив репрезентативні запаси вуглецю шляхом відбору первинних лісів у широкому діапазоні навколишнього середовища. Команда проєкту також виміряла запаси вуглецю у вторинних лісах, тінювих кавових плантаціях, парових садах і антропогенних луках, щоб інформувати майбутнє управління землекористуванням для збільшення поглинання вуглецю.

Оскільки методологія REDD+ наголошує на залученні місцевих жителів до розробки, управління та моніторингу проєктів компенсації вуглецю, команда розробила навчальний модуль, спрямований на залучення місцевих жителів до оцінювання рівня вуглецю як оплачуваної роботи. Збір даних про надземну біомасу та моніторинг запасів вуглецю в лісах місцевими жителями може служити для створення базових кадастрів вуглецю та моніторингу вуглецю в лісах в існуючих проєктах REDD+, а також забезпечить засоби до існування для людей, які відмовляються від експлуатації лісів. Ландшафти для існування, такі як садові перелogi, системи агролісомеліорації або плантації, можуть поглинати та накопичувати значну кількість вуглецю за умови раціонального управління землею. Інтеграція методології та інструментів просторового моніторингу та звітності (SMART) розширює здатність Комітету з управління природоохоронними територіями YUS отримувати та аналізувати дані, зібрані рейнджерами YUS під час щомісячних патрулів, розробляти керовані даними реактування управління для пом'якшення загроз і викликів збереження, а також висвітлити позитивні тенденції наявності ключових видів.



*Мешканці заповідної зони Йопно-Урува-Сом і команда картографування проєкту роблять надземну інвентаризацію вуглецю. Фото Девіда Гіллсона.*

## Тези

(72) Для будь-якої території під охороною, на якій живуть корінні народи, повинна існувати правова та політична основа для створення спільної системи регулювання з місцевим комітетом управління. Основними зацікавленими особами та правовласниками комітету є місцеві жителі та органи управління заповідними територіями, а другорядними зацікавленими сторонами є відповідні державні органи.

- (73) Для тих карстових територій під охороною, на яких живуть корінні народи, потрібне зонування землі на основі традиційних знань і звичаєвих прав. В ідеалі це має включати зони контрольованого використання, де ведеться певна економічна діяльність, і повністю зони під охороною, де охорона природи є основною метою.
- (74) Керівництво національних парків, у яких живуть корінні народи, повинні розробити угоди про спільне управління з місцевими громадами, написані відповідною мовою, щоб кожна громада мала чітко визначену територію для управління та господарської діяльності.
- (75) Адміністрація національних парків, у яких проживають корінні народи, повинна залучати місцеве населення до діяльності з управління природоохоронними територіями. Діяльність рейнджерів і супровід туристів у печерах і на карстових екскурсіях надають значні можливості працевлаштування та можуть допомогти розширити можливості місцевої громади. Програми навчання рейнджерів і гідів природничій історії, мові, якою, ймовірно, користується більшість відвідувачів, є важливими.
- (76) Головною вимогою до найкращого передового управління є необхідність надавати відвідувачам правильну, науково достовірну інформацію та сприяти відповідним дослідженням із низьким впливом на печери та карстові зони.

## Висновки

Карст і печери є дуже особливими місцями, але вони часто значною мірою залежать від більш широких впливів, над якими існує дуже обмежений контроль доступний менеджерам земельних, водних та екологічних ресурсів, а також менеджерам заповідних територій. Кілька карстових територій управляються винятково для збереження природи, а багато охоронюваних територій демонструють свої печери та карстові пейзажі для туризму та відпочинку, відіграючи важливу роль у заохоченні громадської освіти до карстових систем та їхньої чутливості до порушень. Деякі юрисдикції також дозволяють іншу діяльність із соціальною чи економічною метою, або ця діяльність може відбуватися в цьому місці через історичний прецедент. Ця ситуація вимагає ретельного розгляду, щоб забезпечити управління всіма видами діяльності в межах і навколо охоронюваної карстової території у спосіб, який сумісний із загальною метою збереження природи. Керівні органи повинні визначити карстові території, які не входять до охоронюваних територій, і звернути увагу на захист цінностей цих територій за допомогою таких засобів, як контроль планування, програми громадської освіти, угоди про спадщину або угоди про землекористування.

Зміни клімату відбувалися природним чином протягом геологічних часових масштабів, у межах яких розвивалися карстові системи. Однак втручання людини зараз швидко змінює клімат таким чином, що людина може радикально вплинути на природні карстові процеси. Приписи управління мають бути гнучкими, визнавати цю реальність і працювати над підвищенням стійкості системи. Наслідки подій широкого обсягу та низької частоти, таких як повені, цунамі, пожежі та землетруси, повинні розглядатися у стратегіях управління на регіональному, місцевому та конкретному масштабах. Ці події стають все більш частими і перевищують здатність суспільства впоратися з їхнім впливом.

Місцеві фактори визначатимуть конкретні навантаження та можливості, які виникають у кожній карстовій зоні. Таким чином, ці рекомендації прагнуть висвітлити варіанти, не будучи надмірно директивними, що було б непрактичним у глобальному масштабі. Ми обов'язково зосереджуємося на питаннях, які відрізняють карст від інших типів рельєфу, на відміну від більш загальних аспектів управління, які застосовуються до всіх територій, карстових чи інших. Необхідно підкреслити, що ці вказівки завжди повинні застосовуватися в межах місцевого контексту. Це включатиме визнання місцевого біорізноманіття та георізноманіття, а також чутливість до соціально-економічних і політичних факторів.

У всьому світі відбулися помітні зміни в основній філософії управління природними ресурсами. Попередні режими управління щодо захисту були винятковими та обмежувальними, мало враховуючи громадську думку. Зараз ми досить швидко рухаємося до більш освічених режимів управління, де позитивні відносини з тими, хто живе в уразливих і цінних районах або поблизу них, вважаються критично важливими, і ці території управляються з використанням принципів адаптивного управління. Завдання для керівників печер і карсту полягатиме в тому, щоб прийняти нові парадигми, одночасно зберігаючи те, що по суті є невідновлюваними ресурсами.

Сподіваємось, цей обліковий запис і рекомендації нададуть менеджерам і планувальникам корисну допомогу для покращення обізнаності громади про карстові та печерні системи, а отже, розширять можливості для забезпечення місцевого визнання та залучення до покращеного захисту та управління. Рекомендації також повинні допомогти у підготовці більш конкретних стратегій або планів управління на національному, регіональному або місцевому рівнях. Загалом, управлінські установи повинні прагнути розвивати свій досвід і потенціал для управління карстом.

## Подальше читання

Крофтс Р., Гордон Дж.Е., Брілха Дж. та ін. (2020). Рекомендації щодо геоконсервації в охоронюваних і заповідних територіях, Серія Рекомендацій щодо найкращих практик, що охороняються, № 31. МСОП, Гланд, Швейцарія. Доступно за посиланням <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.31.en>

Калвер, округ Колумбія, і Піпан, Т. (2009). Біологія печер та інших підземних середовищ існування. Університет Оксфорда, Оксфорд.

Дрю Д. і Хецьл Х. (1999). Гідрогеологія карсту та діяльність людини: вплив та наслідки. ІАН Міжнародні внески в гідрогеологію 20. Рутледж.

Форд Д. та Вільямс П. (2007). Гідрогеологія та геоморфологія карсту. Уайлі, Чічестер.

Гіллісон, Д. С. (2021). Печери: процеси, розвиток та управління. 2-е видання. Уайлі-Блеквелл, Оксфорд.

Ганн, Дж. (ред.). (2004). Енциклопедія науки про печери та карст. Тейлор і Френсіс – Рутледж, Нью-Йорк.

Особливо дивіться записи про рекреаційну спелеологію, реставрацію печер і туризм і печери: історія.

Hildreth-Werker, V. and Werker, J.C. (eds.). (2006). Консервація та реставрація печер. Національне спелеологічне товариство, Хантсвіль, Алабама, США. Доступно за адресою <https://protect-au.mimecast.com/s/u6sYC71ZQzSARY91Zc8-Dg4?domain=digital.lib.usf.edu>

Міжнародна асоціація показових печер (ISCA), 2014. Рекомендовані міжнародні рекомендації щодо розвитку та управління видовими печерами. ISCA. Доступно за адресою <https://www.i-s-c-a.org/documents>

Кресіч, Н. (2013). Вода в Карсті. Макгроу Хілл, Нью-Йорк.

Палмер, А.Н. (2007). Печерна геологія. Печерні книги, Дейтон, Огайо.

Томас, Л. та Міддлтон, Дж. (2003). Настанови щодо планування управління природоохоронними територіями. МСОП, Гланд, Швейцарія та Кембридж, Великобританія. Доступно на <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGTS/MGTS11/U5/thomas-middleton-2003-guidelines.pdf>

Ван Бейнен, П. (ред.) (2011). Управління карстом. Спрінгер, Нью-Йорк.

Вені, Г. та Дюшен, Х. (ред.) (2001). Життя з карстом: крихка основа. Екологічна обізнаність Серія №. 4, Американський геологічний інститут. Доступно за адресою <https://store.americangeosciences.org/living-with-karst.html>

Уотсон, Дж., Гамільтон-Сміт, Е., Гіллісон, Д., і Кірнан, К. (1997). Рекомендації з охорони печер і карсту. МСОП, Гланд, Швейцарія. Доступно на <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/1997-026.pdf>

Уайт, В.Б., Калвер, О.К., і Піпан, Т. (ред.) (2019). Енциклопедія печер, 3-е видання. Академічна преса.

Вільямс, П.В. (2008). Печери та карст Всесвітньої спадщини. МСОП, Гланд, Швейцарія. Доступно за адресою <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2008-037.pdf>

Ворбойс, Г.Л., Локвуд, М., Котарі, А., Фірі, С. та Пулсфорд, І. (ред.) (2015). Адміністрування природоохоронними територіями. ANU Press, Канберра, Австралія. Доступно за адресою <https://press.anu.edu.au/publications/protected-area-governance-and-management>



## Інтернет-ресурси

Австралійська спелеологічна федерація спелеологічних кодексів мінімального впливу в 1995 році, з останньою версією (2010) доступна на <https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards>

Британський печерний науковий центр (безкоштовне джерело даних), доступний за адресою <https://www.cave-science.org.uk/>

Керівництво Британської спелеологічної асоціації щодо мінімального впливу спелеології, доступне за адресою <https://british-caving.org.uk/our-work/cave-conservation/>

Кодекс поведінки для каньйонінгу, доступний на [www.icopro.org/pages/icopro-canyoneer-charter-104.html](http://www.icopro.org/pages/icopro-canyoneer-charter-104.html)

Поради щодо печерних воріт доступні за адресою <https://digital.lib.usf.edu//content/SF/S0/05/10/33/00001/K26-00584-147-166.pdf>

Пакс скелелазників, доступний на [www.accessfund.org/learn/the-climbers-pact](http://www.accessfund.org/learn/the-climbers-pact)

Посібник з копання для пошуку нових печер у заповідних територіях (Великобританія), доступний за адресою <https://thedca.org.uk/images/dca/publications/leaflets/Cave-Digging.pdf>

Інструкції щодо застосування категорій управління охоронюваними територіями, доступні за адресою <https://portals.iucn.org/library/node/30018>

Інформація про навчання для спелеологічних інструкторів (Великобританія), доступна за адресою <https://british-caving.org.uk/our-work/training/>

Міжнародна спелеологічна асоціація (UIS) має «Кодекс етики для дослідження печер і науки в іноземних країнах», доступний за адресою <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/03/Code-of-Ethics-of-the-UIS-English-Language.pdf>

Категорії територій, що охороняються МСОП, доступні за адресою <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-area-categories>

Довідник з управління карстом для Британської Колумбії, доступний за адресою <https://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00189/karst-mgmt-handbook-web.pdf>

Стандарти інвентаризації карсту та процедури оцінки вразливості для Британської Колумбії, доступні за адресою [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/nr-laws-policy/risc/karst\\_risc.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/nr-laws-policy/risc/karst_risc.pdf)

Кодекс порятунку з печер із мінімальним впливом, доступний за адресою <https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards/send/8-codes-and-standards/9-micrc2020>

Національне спелеологічне товариство (США) має Рекомендації щодо мінімального впливу спелеології, які регулярно оновлюються, востаннє в лютому 2021 року, щоб врахувати пандемію Covid, доступні за адресою <https://caves.org/conservation/cavingcode.shtml>

Департамент охорони природи Нової Зеландії має «Кодекс догляду за спелеологією», доступний за адресою <https://www.doc.govt.nz/parks-and-recreation/things-to-do/caving/caving-care-code/>

Платформа REDD+ Webb, доступна за адресою <https://redd.unfccc.int/>

Правила доступу до печер Тасманії, доступні за адресою  
[www.dpirwe.tas.gov.au/Documents/PWS%20Cave%20Access%20Policy.pdf](http://www.dpirwe.tas.gov.au/Documents/PWS%20Cave%20Access%20Policy.pdf)

Служба охорони рибних ресурсів і дикої природи США, Група реагування на синдром білого носа, доступно за адресою  
<https://www.whitenosesyndrome.org>

Агентство охорони навколишнього середовища США, Лексикон термінології печер і карсту з особливим посиланням на екологічну карстову гідрологію, доступний за адресою <https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p-download-id=36359>

## Наукові посилання

Аулер А.С., та Пільо, Л.Б.. (2015). Печери та видобуток у Бразилії: дилема збереження печер у контексті видобутку. В Гідрогеологічні та екологічні дослідження в карстових системах. (ред. Б. Андрео, Ф. Карраско, Дж.Дж.Дюран, П. Єменес, П. Ла'Море). Спрінгер, Берлін, 487–496.

Аулер А.С, Соуца, Т.А.Р., Се, Д.С. та Соарес, Г.А. (2018). Огляд і статистична оцінка критеріїв для визначення значущості печер, Досягнення в дослідженні карсту: теорія, польові роботи та застосування (ред. М. Парізе, Ф. Габровсек, Г. Кауфман і Н. Равбар). Спеціальні публікації 466 (1). Геологічне товариство, Лондон, 443–460.

Бьоторі, З., Цикій, Дж., Фаркас, Т. та ін. (2014). Консерваційна цінність карстових долин для судинних рослин у лісових біотопах Угорщини: рефугіуми та зміна клімату. *Int J Speleol* 43, 15–26. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.2>

Міністерство лісів Британської Колумбії (2003). Довідник з управління карстом для Британської Колумбії. Міністерство лісів Британської Колумбії, відділ досліджень, Вікторія, Британська Колумбія, 81. <http://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00189/Karst-Mgmt-Handbook-web.pdf>

Бенстед, Дж.П., і Прінгл, К.М., (2004). Знищення лісів змінює ресурсну базу та біомасу ендемічних річкових комах у східному Мадагаскарі. *Freshw Biol* 49, 490–501. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01203.x>

Буррі, Е., Кастільоні, Б., і Сауро, У. (1999). Сільське господарство, ландшафт і вплив людини в деяких карстових районах Італії. *Int J Speleol* 28 В, 33–54.

Сигна, А. А., (2011). Проблема лампенфлори в печерах Шоу. Журнал Австралазійської асоціації управління печерами та карстом, 82, 16–19.

Рада нації Гаїда, (2007). Угода про стратегічне землекористування Гаїда Гаваї. Рада нації Гаїда. <http://www.haidanation.ca/Pages/Agreements/pdfs/Haida%20Gwaii%20Strategic%20Land%20838Use%20Agreement.pdf>

Рада нації Гаїда, (2018). Gwaii Haanas Gina 'Waadluxan KilGuhlGa Land-Sea-People Management Plan, Archipelago Management Board, Національний парк Gwaii Haanas, Парки Канади, Британська Колумбія.

Коксон, К. (1999). Сільськогосподарський вплив. У карстовій гідрогеології та людській діяльності: вплив, наслідки та наслідки (ред. Д. Дрю та Г. Хецл). Міжнародні внески ІАН у гідрогеологію 20. Рутледж, 37–63.

Дейлі Д., Дассарг А., Дрю Д. та ін. (2002). Основні концепції європейського підходу до оцінки та картографування вразливості карстових підземних вод. Журнал гідрогеології, 10, 340–345.

Де Конінг, М., Парр, Дж.У.К., Сенгчантавонг, С., and Поммасане, S. (2016). Спільне управління покращує ефективність управління національною заповідною територією Хін Нам Но в центральному Лаосі. *Парки* 22 (2), 27–40.

Дорфлігер, Н., Дженнін, П.І., Цвален, Ф. (1999). Оцінка вразливості води в карстових середовищах: новий метод визначення охоронних територій з використанням багатоатрибутного підходу та інструментів ГІС (метод ЕРІК). *Геологія навколишнього середовища* 39, 165–176.

Форті, П., (2015). Наукове та соціально-економічне значення карсту та печер та їх вразливість. Короткий опис для GSDR 2015.

Фраппер, А.Б. (2008). Поетапна система скринінгу для відбору сталагмітів, чутливих до шторму: використання цілеспрямованого підходу до методології відбору зразків спелеотемів. *Quatern Int* 187(1), 25–39.

Герстнер, Х., МакАртур, Е., і Кларк, Б. (2018). Feeding the furnace of information, Proceedings 22nd Australasian Cave and Karst Management Conference, Margaret River WA May 2018, 6-10.  
<http://www.ackma.org/Proceedings/proceed/22/22contents.html>

Гілл, Д., (1999). Номінація національного парку "Гунунг Мулу", Саравак, Малайзія, до Списку всесвітньої спадщини. Звіт до Комітету всесвітньої спадщини ЮНЕСКО. Департамент лісового господарства Саравака, Кучінг.

Гіллсон, Д., (2011). Керування печерою. In Karst Management (ed. P. E. van Beynen). Спрінгер, Нью-Йорк.

Гіллсон, Д., і Кларк, Б. (2010). Мулу: найдивовижніший у світі тропічний карст. У Geomorphological Landscapes of the World (ed. P. Migon), Спрінгер, 311–320.

Гіллсон Д., Сільверман Дж., Хопкінсон Р., Квензер М. та Куна К. (2011). Картування рослинності для природоохоронного ландшафту ЮС. Звіт для Conservation International і KfW Bank, Університет Джеймса Кука, Кернс, 35.

Гольдшайдер, Н., Чен, З., Аулер, А.С., (2020) Глобальне поширення карбонатних порід і карстових водних ресурсів. Гідрогеологічний журнал 28, 1661–1677.

Гольдшайдер, Н. (2012). Цілісний підхід до захисту підземних вод та екосистемних послуг у карстових територіях. AQUA mundi Am06046, 117–124. <https://groundwaterportal.net/sites/default/files/Holistic%20approach%20-%20groundwater%20ecosystems-%20karst%20terrains.pdf>

Гріффітс, П., і Рамсі, К. (2005). Найкращі практики управління палеонтологічними та археологічними ресурсами печер. Журнал Австралазійської асоціації управління печерами та карстом, 58, 27–31.

Гріффітс, П.А., і Рамсі, К.Л., (2009). Оцінка лісових карстових ресурсів Гаїда Гаваї: стратегічний огляд. Gwaii Forest Society, проект SFM08–2008.

Ганн, Дж. (2021). Карстові підземні води в охоронних районах ЮНЕСКО: глобальний огляд. Гідрогеологічний журнал, 29 (1), 297–314.

Ганн, Дж., Бейлі, Д., Хендлі, Дж. (1997). Рекультивация вапнякових кар'єрів за допомогою реплікації рельєфу. Департамент навколишнього середовища, транспорту та регіонів, HMSO, Лондон.

Ганн Дж. і Трудгілл С.Т. (1982). Виробництво та концентрація вуглекислого газу в ґрунтовій атмосфері: тематичне дослідження ґрунтів вулканічного попелу Нової Зеландії. Катена, 9, 81–94.

Гутьєррес, Ф., Паріс, М., Де Вейле, Дж., і Журд, Х. (2014). Огляд природних і антропогенних геонебезпек і впливів на карст. Earth-Sciences Reviews 138, 61–88.

Гамільтон-Сміт, Е., МакБіт, Р., Ваврин, Д., (1997). Найкращий досвід управління відвідувачами. Матеріали 12-ї конференції АСКМА, 1997 р. Вайтомо, Нова Зеландія. 85–96.

Хардвік, П., Ганн, Дж. (1993). Вплив сільського господарства на вапнякові печери. Catena додаток, 25, 235–249.

Геллстром Дж., Снідерман К., Драйсдейл Р. та ін. (2020). Інтервали росту спелеотемів відображають реакцію гірської рослинності Нової Зеландії на зміну температури протягом останнього льодовикового циклу. Sci Rep 10, 1–10.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-58317-8>

Іван, В., і Мадл-Сьоні, Й. (2017). Сучасний стан оцінки карстової вразливості: огляд, оцінка та прогноз. Environmental Earth Sciences, 76. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6422-2>

Джонс А., Ангилері В., Бампа Ф. та ін. (2013). CAPRESE-SOIL: Збереження та секвестрація вуглецю в сільськогосподарських ґрунтах, варіанти та наслідки для сільськогосподарського виробництва. Підсумковий звіт – 26516 євро. <https://doi.org/10.2788/77068>

Кіфт, Т.Л., Хавлена, З., і Вені, Дж. (2021). Дослідження освітлення та хімічних методів запобігання та усунення лампенфлори, Карлсбадська печера, Нью-Мексико. Національний дослідницький інститут печер і карсту Звіт про дослідження 14, Карлсбад, Нью-Мексико.

Лю, З., Дрейбродт, В., і Лю, Х. (2011). Поглинання CO<sub>2</sub> в атмосфері: силікатне вивітрювання чи карбонатне вивітрювання? *Appl Geochemistry* 26, S292–S294. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.085>

Манідіс Робертс Консультанти. (2000). Інтегрований план розвитку та управління Національним парком “Гунунг Мулу”. Заключний звіт. Сідней, Manidis Roberts Consultants.

Мартін-Санчес, П.М., Міллер, А.З., і Саїз-Хіменес, К. (2015). Печера Ласко: приклад крихкого екологічного балансу в підземних середовищах. В (Мікробне життя печерних систем (ред. А.С. Engel), Берлін, Мюнхен, Бостон: De Gruyter, 279–302. <https://doi.org/10.1515/9783110339888-015>

МакГрегор, К.Л.В., Хеллстром, Дж.К., Вудхед, Дж.Д., Драйсдейл, Р.Н., та Ебергард, Р.С. (2022). Низький вплив відбору зразків спелеотемів – поєднання наукових досліджень із збереженням печер. Міжнародний журнал спелеології, 51 (1), 1–11. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.1.2406>

Макні, П.М. і Дез, Р.Г. (2017). Вплив сільського господарства на угруповання безхребетних печерних потоків. *Mar Freshw Res* 68, 1999–2007. <https://doi.org/10.1071/MF16112>

Міланович, П. (2021). Дамби та водосховища в карсті? Тримайтеся подалі або приймайте виклики. Гідрогеологічний журнал. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02273-0>

Міланович С. та Васич Л. (2021). Огляд: Методичні підходи та методи дослідження вирішення проблем будівництва та рекультивациі карстових водойм. Гідрогеологічний журнал 29, 101–122.

Національний центр збереження ресурсів. (2010). Стандарт практики збереження. <https://nrsc.usda.gov>

Оларіноє Т., Глісон Т., Маркс В. та ін. (2020) Глобальний набір даних гідрографу карстових джерел для дослідження та управління найшвидшою течією підземних вод у світі. *Sci Data* 7, 59. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0346-5>

Рид, Е. Х. (2009). Розкладання та розчленування туш кенгуру в печерах у Наракурте, Південна Австралія. *Journal of Taphonomy*, 7, 265–283.

Саймон К.С., Бенфілд Е.Ф., Мако С.А. (2003). Структура харчової мережі та роль епілітних біоплівків у печерних потоках. *Екологія* 84, 2395–2406. <https://doi.org/10.1890/02-334>

Шпетль, К., і Метті, Д. (2012). Наукове буріння спелеотемів – технічна записка. *Int J Speleol* 41(1), 29–34

Стеванович, З. (2019) Карстові води в питному водопостачанні: огляд глобального масштабу. *Environmental Earth Science* 78, 662. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8670-9>

Таттерсол, І., Шварц, Дж. Х. (2001). *Extinct Humans*, Boulder, CO, Westview Press.

Теркафс, Р. (2001). Охорона надр. Принципи збереження та інструменти управління, P.S. Видавці.

Томас, Л., Міддлтон, Дж. (2003). Настанови щодо планування управління природоохоронними територіями. МСОП, Гланд, Швейцарія та Кембридж, Великобританія.

- Титус, Т., Філіпс-Ландер, К.М., Бостон, П.Дж., Джадсон Вінн, Дж., і Кербер, Л. (2020). Дослідження прогресу планетарних печер. <https://eos.org/science-updates/planetary-cave-exploration-progresses>
- Трубе, С. (2015). Культивування атмосфери обізнаності про збереження печер: узагальнення сучасних методів відбору зразків спелеотемів і рекомендації щодо найкращої практики. Звіт стипендій CLIMAS Climate and Society. <https://climas.arizona.edu/sites/default/files/pdf2014truebefellowsreport.pdf>
- ЮНЕСКО (2018). Політика ЮНЕСКО щодо взаємодії з корінними народами, ЮНЕСКО, Париж. <https://en.unesco.org/indigenous-peoples/policy>
- Агентство з охорони навколишнього середовища США (2002). Лексикон печерної та карстової термінології з особливим акцентом на екологічну гідрологію карсту. <https://karstwaters.org/wp-content/uploads/2015/04/lexicon-cave-karst.pdf>
- Урич, П.Б. (1989). Управління тропічним карстом і розвиток сільського господарства: приклад Бохолу, Філіппіни. *Geogr Ann Ser B* 71B, 95–108. <https://doi.org/10.1080/04353684.1989.11879589>
- Урич, П.Б. (1996). Знищення лісів і зменшення зрошення в Південно-Східній Азії: приклад Філіппіни. *Int J Water Resour Dev* 12, 49–64. <https://doi.org/10.1080/713672197>
- Урич, П.Б. (2002). Землекористування в карстовій місцевості: огляд впливу основної діяльності на екосистеми помірного карсту. *Наука для збереження 198 (доповідь)*. Департамент охорони природи Нової Зеландії, Веллінгтон.
- Ван Бейнен, Р., and Townsend, К. (2005) Індекс порушення для карстових середовищ. *Екологічний менеджмент* 36, 101–116.
- Вені, Дж. (1999). Геоморфологічна стратегія проведення оцінки впливу на навколишнє середовище карстових територій. *Геоморфологія* 31, 151–180. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00077-X)
- Вентер М., Дваєр Дж., Ділеман В. та ін. (2017). Великі дерева та природні порушення призводять до зростання лісової біомаси на висоті 3000 м у Папуа-Новій Гвінеї, *Global Change Biology*, 23, 4873–4883. <https://doi.org/10.1111/gcb.13741>
- Ванг, К., Жанг, Ч., Чен, Х. та ін. (2019). Карстові ландшафти Китаю: моделі, екосистемні процеси та послуги. *Landsc Ecol* 23, 4873–4883. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00912-w>
- Уотсон, Дж., Гамільтон-Сміт, Е., Гіллісон, Д., і Кірнан, К. (1997). Рекомендації з охорони печер і карсту. МСОП, Гланд, Швейцарія.
- Вільямс, П.В. (1993). Зміна навколишнього середовища та вплив людини на карстові території: вступ. *Catena додаток*, 25, 1–20.
- Вуд П. Дж., Ганн Дж. та Рандл С. Д. (2008). Реакція печерних безхребетних бентосу на органічні забруднення. *Aquat. Консерв. Mar Freshw Ecosyst* 18, 909–922. <https://doi.org/10.1002/aqc.933>

## Додаток 1: Карст і печери в некарбонатних породах

Карстовий ландшафт складається з ряду особливих форм рельєфу, включно з печерами, які утворилися переважно в результаті процесу розчинення. Карст вперше був вивчений і зрозумілий як місце виникнення в карбонатних породах: вапняках, доломітах і мarmorі. Ці породи легко розчиняються в кислій воді і утворюють більшість печер і карстових ландшафтів, відомих на Землі. Однак процеси розчинення також можуть відбуватися в кількох інших типах гірських порід, якщо є відповідні умови. Наприклад, евапоритові породи (гіпс і сіль) є більш розчинними, ніж карбонати, і тому також можуть утворювати карстові форми рельєфу та печери. Різні гірські породи, що містять кремнезем, такі як кварцити та пісковик, також можуть утворювати карстові ландшафти. Незважаючи на меншу розчинність, розчинення у багатих кремнеземом породах відбувається разом з іншими нехімічними процесами. Клімат може відігравати важливу роль у виникненні печер шляхом розчинення в цих породах. Гіпс і сіль настільки розчинні, що вони, як правило, вивітрюються у вологому кліматі. Таким чином, карстові форми рельєфу в цих випарних породах, як правило, присутні здебільшого в сухих середовищах. З іншого боку, кремнезем краще розчиняється в умовах теплового клімату, а найбільш репрезентативний карст і печери в цих породах зустрічаються в тропіках.

Інші печери повністю створені механічними (ерозійними) процесами з обмеженим залученням хімічних агентів. Це стосується морських або прибережних печер, утворених впливом хвиль, або печер у посушливих зонах, створених вітром. Інша категорія печер включає печери, утворені разом із скелею, наприклад, лавові труби, або через тектонічні процеси (тріщинні печери). Таким чином, існує багато способів створення печер і карсту, і вони жодним чином не обмежуються карбонатними породами. Тому при інтерпретації карсту та печер важливо мати цілісне уявлення.

### Гіпсові печери і карст

Гіпс є більш розчинним, ніж вапняк, тому існує потенціал для утворення великих карстових форм рельєфу та печер, складених у гіпсах. Оскільки гіпс є гірською породою, він менш поширений на поверхні, ніж карбонати, і тому утворення гіпсових печер і карсту в усьому світі більш обмежене. Загалом, завдяки високій розчинності гіпсовий карст краще зберігається в сухому кліматі. Наприклад, Національний парк "Вуд-Баффало" в Канаді є об'єктом Всесвітньої спадщини, який містить гіпсовий карст міжнародного значення в сухому бореальному кліматі. Гіпсові печери часто зустрічаються в шарах гіпсу, що перемежовується з іншими породами, і, таким чином, мають обмежені або відсутні відслонення, ситуація, відома як «міжпластовий карст». Деякі з найдовших печер у світі, наприклад печери-лабіринти Західної України, утворилися у відносно тонких шарах гіпсу.

Небагато гіпсових печер були пристосовані для масового туризму, найвідоміші, ймовірно, печери Сорбас в Іспанії. Гіпсові печери та карст багато в чому більш крихкі, ніж карбонати. Твердість гірської породи досить низька, що означає, що її можна легко пошкодити або вирізати. Спелеотеми, як правило, менш поширені та однаково крихкі. Оскільки гіпсові печери зустрічаються переважно в посушливих зонах, доступність дренажу обмежена, що призводить до низькоенергетичного середовища, що обмежує регенерацію від впливу на навколишнє середовище. Низька механічна стійкість гіпсової породи призводить до відносно невеликих печерних проходів. Найдовші гіпсові печери зазвичай складаються з великих лабіринтів, які містять переважно невеликі проходи, як, наприклад, печера Оптимістична в Україні завдовжки 257 км. Обвалення печер у міжпластових шарах гіпсу зазвичай призводить до утворення воронки на поверхні. Швидкий розвиток проходів у гіпсі також може призвести до інженерних проблем.

### Соляні печери і карст

Сіль є добре розчинною породою, набагато більше, ніж гіпс і вапняк, і тому має тенденцію швидко вивітрюватися. Соляні печери та карст зберігаються лише в дуже посушливих середовищах. Яскравими прикладами є гіпераридна пустеля Атакама в Чилі, пустельний район гори Седом в Ізраїлі та Кешм в Ірані. Більшість міркувань, висунутих щодо гіпсових печер, також можна застосувати до солі, хоча печери, як правило, набагато менші, з найдовшою, печерою Малхам в Ізраїлі, приблизно 10 км. Порода досить м'яка, не може витримувати великі отвори без обвалення і через сухий клімат не має активного дренажу. Соляні поверхні, як правило, абразивні, хоча і крихкі. Соляні спелеотеми часто присутні, але вони дуже чутливі до пошкоджень. Розташування в суворох і загалом віддалених, малонаселених середовищах сприяє захисту цих печер.

В Ірані деякі соляні печери на острові Кешм, який є Глобальним геопарком ЮНЕСКО, відкриті для туризму, як і печери, розташовані поблизу Сан-Педро-де-Атакама в Чилі, хоча в останньому не було реалізовано жодного плану адаптації чи

управління.. Великі печери гори Седом були відкриті для пригодницького туризму і приваблюють кілька сотень відвідувачів щороку.



*Кристали солі в печері, гора Седом, Ізраїль. Фото Райнера Штрауба.*



*Дивлячись на глибоку шахту, утворену в галіті, печера Колонель, гора Седом, Ізраїль. Фото Райнера Штрауба.*



## Печери та карст у багатих кремнеземом породах

Гірські породи, багаті кремнеземом, такі як пісковик, кварцит або навіть деякі вивержені породи, як граніти, можуть піддаватися розчиненню. У цих породах, на відміну від карбонатів, розчинність зростає з температурою, і, таким чином, розчинення має тенденцію до сприяння в умовах теплого тропічного клімату. Через нижчі швидкості розчинення для здійснення процесу потрібні тривалі доступні часові межі. Давні ландшафти, які розвивалися в більш стабільних тектонічних умовах, мають відповідні умови для прояву цього типу печер. Печери розчинення в багатих кремнеземом породах широко поширені в багатьох районах Південної Америки (переважно в Бразилії та Венесуелі), Африки, Австралії та Азії (Індія та Таїланд). У Південній Америці, оскільки кварцити є давніми (середина протерозою) і хімічно стійкими, вони мають тенденцію утворювати високі хребти.



*Каверна Арое Ярі, печера з пісковика в національному парку Шапада-дус-Гімарайнш, Бразилія. Фото Чаба Езрі.*

Було нанесено на карту та вивчено кілька кілометрових печер з кварциту та пісковика, найбільша з яких розташована в національному парку Канайма, що є об'єктом Всесвітньої спадщини на південному сході Венесуели. У Бразилії ці печери зустрічаються в кількох гірських районах у східній частині країни, а також у низинних районах басейну Амазонки. Ці печери являють собою нове поле дослідження, і багато областей ще потребують адекватного пошуку печер. У протерозойських пісковиках північної Австралії є великі карсти та печери пісковика, найвідоміші з яких знаходяться в національному парку Пурнулулу (всесвітня спадщина), Кімберлі в Західній Австралії та національному парку Какаду на Північній території.

Кварцити та пісковики — це гірські породи, які мають зчеплені зерна кварцу з або без кремнієвої матриці. Також можуть зустрічатися конгломерати, що складаються з уламків багатих кремнеземом порід, зцементованих багатою кремнеземом матрицею. Хімічна зміна цих порід спочатку дезагрегує зерна, процес, відомий як аренизація. Як наслідок, скельна основа в цих печерах, як правило, дуже пухка. Відомо, що в державному парку Ібітіпока на південному сході Бразилії частий прохід туристів у тісних місцях печери Бромеліас довжиною 2,7 км назавжди змінив профіль деяких проходів. Обвалення даху проходу, також викликане випадковим дотиком туристів до нестабільних частин печери, призвело до закриття цієї печери для туристів. Дуже крихка природа стін печер, здається, є стимулом для висічення написів у печерах. Кілька печер з пісковика демонструють інтенсивне абразійне графіті.

Печери в багатих кремнеземом породах можуть бути притулком для різноманітної троглобіонтної фауни; наприклад, у національному парку Чапада Діамантіна на північному сході Бразилії є два види сомів, адаптованих до печер. Ці печери здебільшого позбавлені мальовничих спелеотемів, поширених у карбонатних породах. Однак багато печер у Південній Америці регулярно приймають туристів, хоча жодна з них наразі не була належним чином пристосована для масового

туризму за допомогою штучного освітлення та спланованих маршрутів. Плани управління печерами були схвалені для кількох печер, таких як печера Салтіре в Діамантині на південному сході Бразилії, і ці документи, як правило, визнають крихку природу печер і обмежують відвідування більшими та більш доступними частинами печер. Кварцит і пісковик, будучи поширеними породами, мають обмежене господарське значення. Крім того, через бідний піщаний ґрунт, пов'язаний із цим ландшафтом, і часте розташування на великій висоті, зайнятість людини, як правило, рідкісна. Це обмежує відвідування людей і сприяє збереженню печер. Через мальовничі краєвиди, наявність водоспадів і легкість привласнення багато таких територій було перетворено на природоохоронні одиниці на національному, державному та місцевому рівнях.



*Палата з тисячею стовпів у тепуї Ауян, кварцитовій печері в національному парку Канайма, що є об'єктом всесвітньої спадщини, Венесуела. Фото Вітторіо Гробу.*

## Печери у залізних формаціях

Печери залізної формації були вперше зареєстровані в спелеологічній літературі в 1960-х роках, але вони потрапили в центр уваги з 2014 року через значне розширення залізних копалень через збільшення попиту в усьому світі. Нині в залізних утвореннях виявлено тисячі печер, головним чином у Бразилії, а також в Австралії та Африці. Незважаючи на невеликі розміри, які рідко перевищують 100 м в довжину, вони містять чудову печерну фауну, що населяє не тільки саму печеру, але й інтерстиціальну пористість гірських порід. Нещодавно були зареєстровані сотні нових троглобіонтних видів.

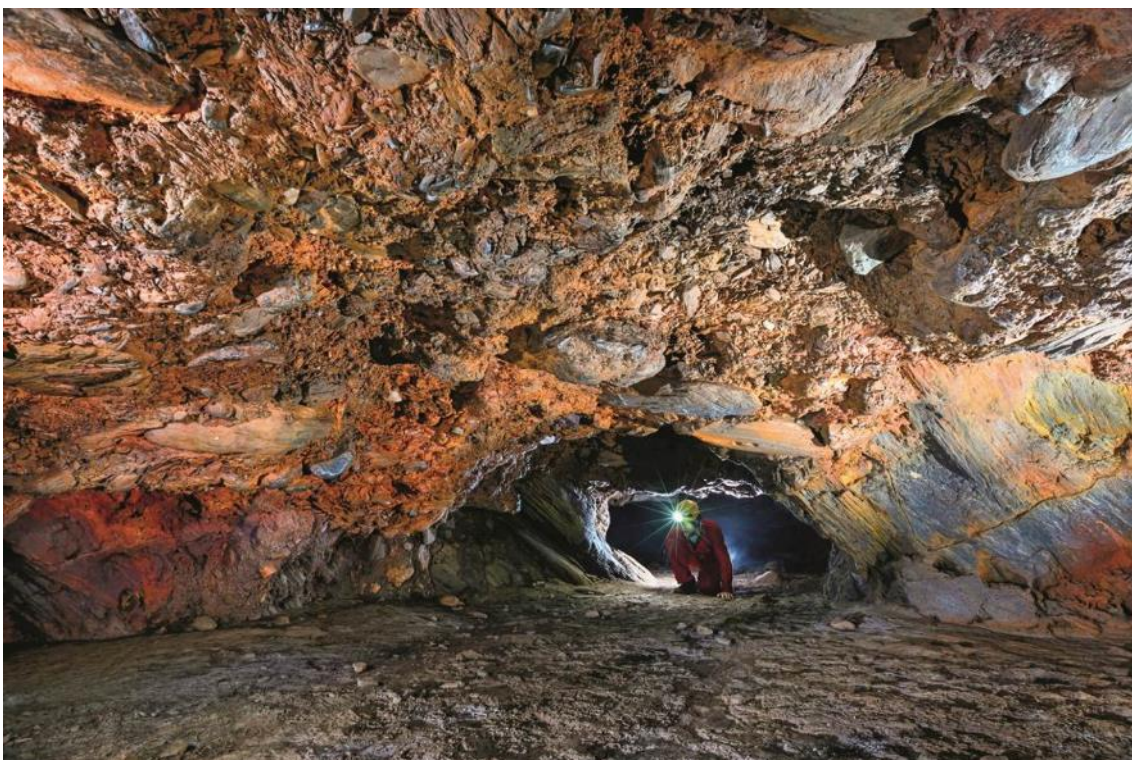
Оригінальна, невивітрювана порода залізної формації, відома як смугаста залізна формація, складається з чергування шарів кремнезему та заліза. Залізо навіть більш хімічно стійке, ніж кремнезем, тому кремнезем спочатку вилугують, що призводить до високоякісної залізної руди. Генезис печери містить не тільки хімічні процеси, але й складну взаємодію геомікробіологічних механізмів, у яких бактерії, що відновлюють залізо, перетворюють нерозчинний Fe (III) у розчинний Fe (II). Оскільки ці печери зазвичай асоціюються з високоякісними залізними тілами, вони стикаються з економічним тиском від видобутку, оскільки зазвичай немає альтернативних місць для видобутку заліза. У Бразилії було легально видобуто кілька печерних районів залізної формації, що призвело до значної екологічної компенсації, пов'язаної з печерами, наприклад створення нових національних парків, фінансування досліджень, публікацій. Однак через обмежену поширеність цього типу гірської породи в усьому світі та той факт, що більшість ділянок заліза вже включено в плани видобутку, велика частина цієї компенсації була застосована в печерах в інших породах, залишаючи дисбаланс у одиницях збереження.

В Австралії гучне руйнування археологічної пам'ятки, пов'язаної з печерою залізної формації, викликало бурхливі громадські протести. Ущелина Джуукан містила матеріали людської діяльності, датовані 46 000 років тому, але була повністю знищена видобутком. Традиційні власники, народи Пууту Кунті Куррама та Пінікура, а також екологічні групи

викликали дуже сильну реакцію. Подальше парламентське розслідування підкреслило неадекватність як штатних, так і федеральних законів про охорону спадщини. Наразі в регіоні є інші об'єкти, які перебувають під загрозою внаслідок схваленої гірничої діяльності відповідно до цього законодавства.



*Печера залізної формації, південний хребет Еспіньясо, Бразилія. Автор фото Лучіана Альт і Вітор Моура.*



*Печера залізної формації, де видно кангу (багатий залізом конгломерат) у даху та стрічкову залізну формацію (BIF) у стінах. Південний хребет Еспіньясо, Бразилія. Автор фото Лучіана Альт і Вітор Моура.*

Печери залізних утворень здебільшого позбавлені мальовничих спелеотемів, а їх внутрішня конфігурація, що містить вузькі проходи, не робить їх привабливими кандидатами для туризму. Через це вони здебільшого ігнорувалися спелеологами, хоча на їх важливості було наголошено консультаційною роботою з питань екології. Лише кілька таких печер регулярно відвідуються, і жодна з них не має належних планів управління та інфраструктури. Деякі назавжди збереглися в Бразилії разом із захисним буфером. Однак багато з цих печер розташовані в межах гірничовидобувних ділянок, тому підтримувати їх цілісність складно. Оскільки ці печери мало досліджені, особливо мало інформації про рухливість і діапазон печерної фауни в пористих породах, невідомо, як ефективно захистити їхні екосистеми.

## Некарстові печери

Багато печер не демонструють домінування хімічних процесів у своєму генезисі, натомість утворені різними іншими геологічними факторами та механізмами. Через відсутність (або незначну роль) процесів розчинення ці печери зазвичай не належать до класичного карстового ландшафту. Типові карстові особливості, такі як долини та карени, як правило, відсутні. Подібні ландшафти іноді включають під дещо сумнівне визначення «псевдокарст». Тим не менш, ці некарстові печери можуть мати надзвичайну наукову та естетичну цінність.

Деякі печери можуть утворюватися синхронно зі скелею, в яку вони вбудовані. Таким є випадок лавових труб, у яких лава, що тече вниз після виверження, має зовнішні межі в контакт з атмосферою або підвалом, які спочатку твердіють, тоді як внутрішня частина залишається розплавленою. Коли запас лави вичерпується, залишається довга труба, що йде по схилу. Ці печери поширені в активних вулканічних районах по всьому світу, і деякі з них були пристосовані для туризму. На Лансароте, Канарські острови, Іспанія, Jameos de Agua є однією з таких лавових труб, відкритих для масового туризму. Лавові труби мають природну геологічну та біологічну цінність, і хоча багато таких печер геологічно молоді (як правило, максимальний вік яких становить кілька сотень тисяч років), вони були колонізовані та демонструють багату фауну, адаптовану до печер. Лавові печери є в одинадцяти глобальних геопарках ЮНЕСКО та чотирьох об'єктах Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО: Галапагоські острови, Еквадор; Рапа-Нуї, Чилі; вулканічний острів Чеджу, Південна Корея; і Національний парк Гавайських вулканів, США.



*Нашарування лави в печері Казумура, Гаваї, США. Ця складна печера з багатьма входами розташована на схилі вулкана Кілауеа і наразі є найдовшою (65,5 км) і найглибшою (1100 м) лавовою трубою у світі. Фото Філіпа Крочета.*

Печери також можуть виникати в туфі, який іноді називають травертином, хоча цей термін найкраще використовувати для покладів термальності води. Туф і травертин є гірськими породами, утвореними опадами карбонату кальцію, найчастіше біля джерел або безпосередньо вниз за течією. Подібно до лавових печер, печери в туфі первинно

утворюються в той самий час, коли відкладається порода. Більшість із них лише кілька метрів у довжину та ширину, хоча деякі довші. У Європі є принаймні сім туристичних печер у туфі, найдовшою є Печера Ольги в Хонау, Німеччина (170 м).

Тектонічні печери являють собою збільшені западини і зустрічаються в багатьох районах світу. Ці печери іноді називають щілинними або тріщинними печерами. Вони більш поширені в більш холодному кліматі та тектонічно активних областях, де розчинення є незначним процесом, наприклад, на Тибетському плато та в Гренландії. Ці невеликі печери можуть становити значний біологічний інтерес і містити стародавні спелеотеми. Найглибша кварцитова печера у світі, печера Сентенаріо на південному сході Бразилії, містить глибокі щілини, відкриті на поверхню на вершині плато, що звужується до непрохідних розмірів на глибині 484 м.

Печери, утворені ерозійними процесами, є багатими скрізь у світі та можуть зустрічатися в кількох типах гірських порід. Численні морські або прибережні печери утворюються внаслідок ерозійної дії хвиль. Чудові приклади зустрічаються на узбережжі Каліфорнії, США, і на західному узбережжі хребта Вайтакере, Нова Зеландія. Одним із добре відомих місць є Фінгалова печера біля узбережжя Шотландії, яку відвідували туристи протягом століть і яка надихнула Мендельсона на створення однієї з симфоній. Вітер може створювати печери, особливо в «м'яких» скелях, таких як пісковик у пустельних середовищах. Округлі неглибокі порожнини різного розміру, відомі як тафони, часто зустрічаються у гранітах, пісковиках і в деяких метаморфічних породах. Вони утворилися в результаті поєднання механічних, тектонічних і хімічних процесів. Тварини, включаючи вимерлих броненосців, створюють печери довжиною понад 1 км, як спостерігалось у бразильському басейні Амазонки. Ерозія відслонень звивистими річками може призвести до утворення печер, так само як і водний потік у неконсолідованих породах або ґрунті, що створює короточасні та переважно невеликі печери. Вони відомі як труби і, як правило, є досить поширеними рисами, особливо в посушливих зонах. Хороші приклади пов'язані з рельєфом «Бедлендс» на Заході Америки.



*Морські печери в національному парку Дженнаргенту на східному узбережжі Сардинії, Італія. Фото Чабя Еґрі.*

Особлива група печер розвивається в льоді. Ці глетчерні печери утворюються в основному в результаті танення і можуть бути повністю закриті льодом або розташовуватися на контакт з фундаментом. Танення відбувається швидше влітку, коли ці печери мають тенденцію до більш високих темпів розвитку. Тепло, необхідне для танення льоду, може надходити від тертя між водою та льодом або через зовнішні джерела, такі як вода, нагріта вулканічними процесами. Крижані печери можуть швидко розвиватися, особливо в умовах швидкої зміни клімату, що відбувається через

антропогенний вплив. Багато льодовикових печер разом із льодовиками, в яких вони розташовані, мають дуже невизначене майбутнє. Глетчерні печери стали центром пригодницького туризму в Ісландії.

Хаотичне розташування блоків, що впали, переважно знаходяться біля підніжжя гір (або пов'язаних із льодовиками), може містити осипні печери. Це ще один приклад того, що походження печери є синхронним із родовищем, у якому вона лежить. Багато типів гірських порід можуть утворювати осипні печери, але вони, здається, більш поширені в магматичних породах, які піддаються відшаруванню. Печери Талус в Нью-Гемпширі, США, є популярними туристичними визначними пам'ятками. В Австралії осипні печери Блек-Маунтін поблизу Куктауна на півночі Квінсленда є великими і містять значні популяції кажанів. Там, де відбулося глибоке вивітрювання, можуть утворитися валунні печери. Вони відрізняються від осипних печер у тому сенсі, що вони утворені підповерхневим вивітрюванням, з стрижневими каменями або валунами, оточеними грюсом або залишками вивітрювання. Пізніше видалення залишків вивітрювання (реголіту) між валунами зануреними потоками може створити великі печери з аморфними кремнеземними спелеотемами та цікавою біотою. В Австралії є задокументовані печери з гранітних валунів у Лабертуші, штат Вікторія, та Вібербі, штат Квінсленд. Регіон Галісія на півночі Іспанії демонструє дивовижні валунні печери довжиною понад 1 км.

Загалом печери в гірських породах, відмінних від карбонатів, як правило, менш добре вивчені, хоча вони можуть бути однаково важливими в геологічному та біологічному плані. Оскільки вони часто розташовані у віддалених районах, зазвичай менші та не мають витонченої естетичної цінності, яку забезпечують великі камери, підземні річки та особливо спелеотеми, вони набагато менш відвідуювані та менш схильні до вандалізму. Лавові труби є винятком із цього, оскільки вони добре задокументовані в усьому світі, є регіонально важливими для туризму та мають велику наукову літературу, присвячену їм.

## Бібліографія

Аулер, А.С., Паркер, К.В., Бартон, Х.А., і Соарес, Г.А. (2019). Печери залізної формації: генезис та екологія. Енциклопедія печер (ред. В. Б. Уайт, Д. К. Кальвер, Д. С. і Т. Пайпен). Академічна преса: 559–566.

Фрумкін А. (1994). Морфологія та розвиток соляних печер. Бюлетень національного спелеологічного товариства 56: 82–95.

Кемпе, С. (2019). Вулканічні скельні печери. Енциклопедія печер (eds. W. B. White, D. C. Culver, D. C. і Т. Pipan). Академічна преса: 1118–1127.

Клімчук А. (2019). Гіпсові печери. В Encyclopedia of Caves (ред. В. Б. Уайт, Д. К. Кальвер, Д. С. і Т. Пайпен). Академічна преса: 485–495.

Палмер, А.Н. (2007). Печерна геологія. Дейтон, Огайо: Печерні книги.

Персой, А. і Лаурітцен, С.Е. (2018). Крижані печери. Амстердам: Elsevier.

Врей, Р.А.Л., і Сауро, Ф. (2017). Оновлений глобальний огляд процесів вивітрювання розчину та форм у кварцовому пісковнику та кварцитах. Earth Science Reviews 171: 520–557.

## Додаток 2: Підсумковий список рекомендацій з охорони печер і карсту

### Деякі значення карсту і печер

- (1) Ефективне планування карстових регіонів вимагає повної оцінки всіх їхніх економічних, наукових і людських цінностей у місцевому культурному та політичному контексті.
- (2) Регулятивні органи повинні бути обізнаними в наступному: в карстових водозбірних басейнах поверхневі дії призводять до прямого чи непрямого впливу під землю або далі за течією.
- (3) Добре розуміння особливостей печер та їх унікальних цінностей має важливе значення для покращення адміністрування будь-якої карстовою територією.

### Особливість карстового середовища та печерних систем

- (4) Охорона природних процесів, особливо гідрологічної системи, є базовою для захисту карстових ландшафтів та їхнього адміністрування.
- (5) Головним серед карстових процесів є перепади вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) від низької концентрації у зовнішній атмосфері через значно підвищену концентрацію у ґрунтовій атмосфері до зниженої концентрації у проходах печер. Підвищена концентрація вуглекислого газу в ґрунті є результатом дихання кореневої системи рослин, активності мікробів і здорової фауни безхребетних у ґрунті. Цей перепад необхідно підтримувати для ефективності процесу карстоутворення.
- (6) Потреба в повному регулюванні водозбірного басейну є більш важливою для карстових ландшафтів, ніж для багатьох інших осадових порід.
- (7) Зараз існує відносно небагато карстових ландшафтів, у яких не виявлено антропогенного втручання, і вони мають охоронятися та підтримуватися на рівні високого пріоритету. Слід сфокусувати увагу на виправленні будь-яких негативних впливів минулих і теперішніх методів адміністрування в інших місцях карстових ландшафтів.

### Масштаби регулювання карстових зон

- (8) Єдиний спосіб регулювання, застосований до складної карстової гідрологічної системи (або складної інтегрованої системи печер), навряд чи зможе належним чином захистити поточні геоморфологічні та екологічні процеси в різних частинах системи. Таким чином, планування регулятивних процесів має враховувати фактори масштабу карстової системи.
- (9) Флора та фауна більшості печер значною мірою залежить від джерел їжі, що надходить із поверхні. Надходження їжі та енергії із зовнішніх джерел має вирішальне значення для виживання життєздатних популяцій організмів, а частота та кількість надходження енергії в печерну екосистему мають важливе значення для підтримки популяції організмів.
- (10) Індивідуальна карстова гідрологічна система (або печерна система) може містити кілька компонентів або типів проходів, меандрів (від активних до неактивних), камінів, а також слабо пов'язаних реліктових коридорів. Для кожного з них потрібен відповідний варіант захисту.
- (11) У карстовій зоні деякі ділянки можуть бути надвразливими до забруднювачів ґрунтових вод, тоді як інші ділянки можуть бути менш чутливими. Тому для захисту ресурсів карстових підземних вод необхідне комплексне планування землекористування.

### Рекреаційна та пригодницька спелеологія

- (12) Інвентаризація печер є бажаною основою для адміністрування. Об'єкти, що становлять особливий інтерес у кожній печері, слід фіксувати на мапі.
- (13) Оцінка ризику є бажаною та повинна охоплювати системи печер, окремі печери або внутрішні секції відповідно до місця з найбільшим рівнем ризику. Оцінка повинна охоплювати як ризик для людей-дослідників, так і ризик, який люди-дослідники представляють для печери. Необхідно оцінити вразливість кожного типу об'єкта, щоб полегшити ідентифікацію печер або зон у печерах, придатних для певного використання.
- (14) Усунення наслідків завалів і адміністрування найкраще здійснювати через процес стратегічного планування із залученням зацікавлених сторін. Відповідний підхід, імовірно, вимагатиме поєднання ініціатив, серед яких політика доступу завжди матиме найбільшу вагу.

- (15) Будь-який інструктор, який пропонує екстремальний спелеологічний захід, повинен бути готовим за потребою надати докази того, що він має відповідну підготовку з питань безпеки та збереження печер.
- (16) Очікується, що всі спелеологи будуть знайомі зі спелеологічним кодексом мінімального впливу (MICC) і дотримуються його. Якщо національні або регіональні MICC не застосовуються до території під охороною, тоді слід розробити спеціальний кодекс на основі вже опублікованих.
- (17) Розкопки, відкриття об'єктів та дослідження в печерах в межах територій під охороною повинні контролюватися або через спеціальні угоди, або шляхом вимагання і отримання дозволів на спелеологічну діяльність.
- (18) Керівникам природоохоронних територій рекомендовано скласти план, який можна буде використовувати, якщо на території трапиться екстрена спелеологічна ситуація. План має бути складений із залученням регіонального або національного спелеологічного органу та державних органів, відповідальних за нещасні та надзвичайні ситуації, і повинен містити вказівки щодо мінімізації впливу рятувальних робіт на печеру та на поверхню.
- (19) Категорично заборонений будь-який вид моторизованого транспорту в диких печерах, а дикі печери заборонено використовувати для змагань з бігу чи для інших спортивних заходів.

### Показові (екскурсійні) печери

- (20) Наявні екскурсійні печери мають регулюватися відповідно до найвищих можливих стандартів і мають функціонувати за відповідністю рекомендацій ISCA, а також наведених там інструкцій.
- (21) Необхідно провести ретельне дослідження для визначення екологічної та економічної стійкості печери перед тим, як перетворити її на показову.
- (22) Безпека має бути найпершим пріоритетом у кожній показовій печері.
- (23) Визначення пропускної спроможності певної печери для відвідувачів – це баланс між гарантією безпечної, інформативної та приємної спелеоекскурсії для відвідувачів і мінімізацією впливу на печерне середовище при досягненні економічних цілей. Необхідно враховувати всі три фактори: досвід відвідувачів, вплив на навколишнє середовище та економічні цілі.
- (24) Щоб проаналізувати потенційний вплив поверхневих робіт на печеру, необхідно мати план місцевості (результат топозйомки), який зображує поверхню та підземні об'єкти печери.
- (25) Відповідна інфраструктура на вході в показову печеру є важливою для збереження природного середовища печери.
- (26) У всіх нових розробках та дослідженнях, чи то в наявних печерах, чи на нових ділянках, потребу в інфраструктурі слід ретельно оцінювати, проектувати її та встановлювати. При цьому слід звертати увагу на використання передових технологій.
- (27) Мережу електричного освітлення в печері бажано розподілити на зони, щоб забезпечити ефективне освітлення лише тих частин печери, які функціонують для відвідувачів. Слід звести до мінімуму використання світла, щоб освітлювати лише певні елементи та створювати атмосферу, яка покращить відвідувачам враження від печери.
- (28) Ефективне адміністрування екскурсійними печерами ґрунтується на моніторингу, що забезпечує адаптивне керування. Як мінімум, основний моніторинг печери, фауни, клімату та концентрації вуглекислого газу має проводитися згідно з графіком моніторингу.
- (29) Адміністрація показових печер повинна бути компетентною як в управлінні бізнесом в екскурсійних печерах, так і в захисті навколишнього середовища.
- (30) Гіди в будь-якій показовій печері відіграють роль медіатора між печерою та відвідувачем. Важливо, щоб гіди орієнтувалися належним чином у цінностях конкретної печери та інтерпретації цих цінностей для відвідувачів.
- (31) Усі показові печери мають отримувати високоякісну інтерпретаційну інформацію, щоб допомогти громадськості краще зрозуміти та оцінити середовище печери.

### Пригодницько-туристична діяльність на карстовій поверхні



- (32) *Наявні поверхневі карстові середовища, пересічні або віддалені, можуть мати невизначені цінності біо- та георізноманіття. Їх слід досліджувати й оцінювати у процесі ухвалення рішень щодо дозволу, умов та місця проведення пригодноцько-туристичної діяльності.*
- (33) *Інфраструктура, необхідна для підтримки поверхневої карстової діяльності, повинна бути спроектована та встановлена таким чином, щоб вона мінімально впливала на карст, як візуально, так і з точки зору його цілісності, і, якщо необхідно, могла бути легко демонтована в майбутньому, аби повернути карст до його майже природного стану.*

## Наукові пошуки і дослідження

- (34) *Усі природоохоронні території з печерами та карстом повинні розробити політику управління дослідженнями, які дозволятимуться лише після отримання та ухвалення заявки.*
- (35) *Охочі до проведення печерних досліджень зобов'язані продемонструвати, що вони або знайомі з печерним середовищем і місцевим кодексом спелеології мінімального впливу, або вони працюють з досвідченими спелеологами, які гарантують дотримання цього кодексу.*
- (36) *Для тих печер, що мають план адміністрування, має бути розділ про науково-дослідницьку діяльність.*
- (37) *Усім дослідникам, які працюють у печерах або на карсті, як всередині, так і за межами територій під охороною, рекомендовано ретельно оцінювати свої пропозиції, в тому числі порівняння потенційних переваг із ризиком негативного впливу на навколишнє середовище чи культурні цінності.*
- (38) *Необхідно акцентувати увагу на мінімальних методах відбору зразків фауни, спелеотемів і відкладень, а дослідники повинні взяти на себе зобов'язання публікувати результати в академічних ЗМІ, а також у формі, зрозумілій громадськості. Дослідники зобов'язані вивезти обладнання та відновити місце (якщо необхідно) після завершення проєкту.*

## Сільське та лісове господарство

- (39) *Сільськогосподарська діяльність може негативно впливати на карстові геоекосистеми. Адміністрація природоохоронних територій повинна приділяти особливу увагу будь-яким запропонованим змінам у землекористуванні та надавати вказівки, що відповідають типу землеробства та конкретним умовам на землі в цілях мінімізації впливу на кількість і якість води.*
- (40) *Що стосується землекористування, орні землі потребують ретельного керування ґрунтом, щоб мінімізувати ерозії та зміну властивостей ґрунту (аерація, агрегатна стабільність і вміст органічної речовини) і підтримувати здорову ґрунтову біоту. Пасовищами слід керувати так, щоб підтримувати рослинний покрив, особливу увагу слід приділяти рівням поголів'я. Оскільки водосховища забезпечують локальне живлення, їх слід залишити в природному стані і ніколи не заповнювати або використовувати для утилізації відходів.*
- (41) *Там, де це можливо, буферні зони мають встановлюватися навколо ділянок зосередженого живлення, таких як водотоки, долини або інші природні отвори, оскільки вони є каналами для переміщення забруднювачів і токсичних речовин у підповерхнєве карстове середовище. На сільськогосподарських угіддях забороняється оранка в буферних зонах; слід підтримувати повний рослинний покрив для фільтрації будь-якого осаду у стоках з орної землі. Збереження та потенційне зміцнення місцевої рослинності у буферних лісових зонах має вирішальне значення.*
- (42) *Що стосується кількості води, слід контролювати кількість підземних вод, що вилучаються для ірригації. Доцільніше використовувати збір дощової води.*
- (43) *Стосовно якості води, використання пестицидів і гербіцидів не слід заохочувати, за винятком випадків, коли є нагальна потреба для боротьби зі шкідниками та бур'янами. Необхідно мінімізувати використання добрив і, де можливо, використовувати натуральні добрива. Буферні зони навколо ділянок зосередженого живлення повинні бути дотримані, а застосування хімікатів не повинно відбуватися в періоди, коли ґрунти насичені або близькі до насичених, і при цьому наявний ризик наземного потоку змивних хімікатів у карст.*
- (44) *Перед будь-якими лісозаготовчими або лісгосподарськими діями на карстових територіях необхідна процедура інвентаризації та топозйомка карстової зони, оцінка її вразливості, розробки відповідних рекомендацій адміністрування. Необхідно розглянути попередній аналіз типу та масштабів лісгосподарської діяльності в межах конкретного карстового басейну, а також подальший моніторинг для впевненості, що рекомендації виконувалися, а вразливі карстові території захищені.*

- (45) Природні ліси, які утворилися на карстових територіях, в тому числі дорослі дерева та зарості, не повинні бути суцільно вирубані або піддаватися будь-якому впливу людини. Замість цього ці ліси мають знаходитися під суворим захистом шляхом належного природоохоронного адміністрування, щоб поверхневі та підземні карстові середовища продовжували користуватися перевагами екосистемних послуг.
- (46) На територіях, де місцеві ліси були вирубані та замінені іншими породами, адміністративні органи повинні планувати заміну екзотичних видів на тип лісу, який найкраще адаптований до екологічних умов ділянки.

## Видобувна промисловість

- (47) Повинна існувати презумпція проти нових шахт і кар'єрів у карстових територіях під охороною, якщо не буде доведено, що немає альтернативного джерела корисних копалин, які є дефіцитними та мають високу економічну чи стратегічну цінність.
- (48) Будь-яка ініціатива щодо нової шахти чи кар'єру в карсті має підлягати детальній екологічній оцінці, яка враховує як особливості всередині та на межі території, так і потенційні віддалені впливи через поверхневі та карстові підземні води.
- (49) Екологічна оцінка повинна описувати та оцінювати цінність печерних і карстових форм рельєфу та екосистем. Потрібно оцінити, чи існують альтернативні місця для видобутку, де буде менш значний вплив. Там, де немає альтернативних ділянок, де це можливо, повинна бути ретельно спроектована буферна захисна зона навколо печер з особливим статусом і карстових особливостей, щоб захистити цілісність печерної екосистеми, а також безперервність гідрологічних процесів.
- (50) Там, де немає альтернативи руйнівних дій, об'єкти слід зафіксувати та, у відповідних випадках, виокремити для наукового вивчення, тобто записати та виокремити спелеотем та зразок породи чи ґрунту для палеоекологічного дослідження.
- (51) Там, де дослідження дозволене, має бути добре розроблена система захисту навколишнього середовища, а також має бути протокол моніторингу, аби зареєструвати ефективність системи захисту й умов під час експлуатації, щоб у разі необхідності можна було вносити зміни. Також має бути детальний план закриття проєктів, який містить відповідні відновлення та довгостроковий моніторинг, а також заставу, сплачену наперед, щоб підтвердити наявність фінансування для закриття проєкту.

## Розвиток та інфраструктура

- (52) Усі техніко-економічні обґрунтування будівельних проєктів у карстових районах повинні мати ретельне вивчення запланованого місця розташування, детальну екологічну оцінку та розмір захисної буферної зони. Якщо є можливість перенести проєкт або містобудування подалі від карстової зони, це може бути економічно та екологічно позитивним рішенням.
- (53) Необхідно розробити та застосувати протоколи щодо утилізації атмосферних, рідких і твердих відходів, які утворюються під час та після будівництва. Вони повинні поширюватися на всю критичну зону карсту, яка включає атмосферу, ґрунт, епікарст і верхню зону карстових водоносних горизонтів.
- (54) Будівельні норми для карсту повинні виконуватися так само, як і для територій, схильних до землетрусів або повеней. Міське зонування в карстових регіонах має враховувати особливості та вразливість карстового середовища.
- (55) На місцевому, регіональному та національному рівнях слід запровадити міцну науково обґрунтовану законодавчу базу планування.
- (56) Освітні ініціативи слід застосовувати на практиці, особливо в менш розвинених країнах, щоб інформувати землевласників або жителів міст про крихку природу карстових територій.
- (57) На заповідних територіях інфраструктура має бути зведена до мінімуму та, якщо можливо, розташована подалі від печер і карстових об'єктів.
- (58) Належний план регулювання природоохоронної території має ретельно зважувати всі переваги та недоліки будівельних конструкцій у межах території, прагнучи до захисту навколишнього середовища та безпеки відвідувачів замість задоволення непотрібного комфорту. Краще не заохочувати масштабні інфраструктурні проєкти в печерах, якщо це не є нагальною потребою.
- (59) З небезпечними матеріалами слід працювати дуже обережно та належним чином використовувати, щоб мінімізувати викиди. Особи, які першими реагують на інциденти HazMat, повинні бути навчені конкретним методам впливу на карст.

(60) *Небезпечні матеріали, будь то бензин чи інше паливо, розчинники, стічні води чи інші токсичні відходи, ніколи не повинні змиватися у вільний підземний простір. Дослідження та рекультивація підземних вод є надзвичайно складною та дорогою справою. Наскільки це можливо, токсичні матеріали слід утримувати та видаляти з поверхні. Більш детальні дослідження потенційного впливу на навколишнє середовище мають проводити досвідчені фахівці з карсту.*

## **Постачання води**

(61) *Визначте захисні буфери для карстових джерел води, таких як підземні свердловини, колодязі та печери. У цих захищених територіях мають бути встановлені протоколи щодо сільськогосподарської практики з належним використанням добрив і контрольованим відкачуванням води. Вже було запропоновано декілька схем створення охоронних зон у джерелах, але вони отримали широке застосування лише в Європі та США.*

(62) *Освітні ініціативи мають сприяти обізнаності як землевласників, так і звичайних громадян щодо особливостей карстового середовища з метою уникнути неналежної утилізації твердих, санітарних та токсичних відходів.*

(63) *Необхідно встановити надійну систему моніторингу на основних джерелах і вибраних свердловинах у сприятливих і високо використовуваних системах підземних вод у карстових зонах. Довгострокове дистанційне спостереження з високою роздільною здатністю тепер є можливим і має бути реалізовано ширше.*

(64) *Країни повинні ставитися до карстової води як до вразливого та обмеженого ресурсу, а також мають впроваджувати закони для контролю та дисципліни видобутку води, отримувати офіційний дозвіл на відповідне фінансування для швидкого реагування у випадку забруднення. Зокрема, слід втілити в життя рекомендації щодо правильного проєктування та встановлення септиків і розміщення сміттєзвалищ.*

(65) *Оскільки мало що відомо про характер впливу багатьох забруднювачів у карстовому середовищі, необхідно забезпечити належне фінансування для просування наукового висвітлення цієї теми.*

## **Розвиток ефективного моніторингу та пом'якшення антропогенного впливу**

(66) *Моніторинг є важливим інструментом в адмініструванні та захисті печер і карстових ресурсів, особливо на заповідних територіях. Результати поточного моніторингу можуть бути використані для інформування адміністративних органів та з метою пом'якшення антропогенного впливу.*

(67) *Зусилля з моніторингу мають бути зосереджені на визначенні пріоритетів природних ресурсів на основі їхньої цінності, значущості, вразливості, крихкості, серйозності фактичних чи очікуваних загроз або впливу.*

(68) *Забруднення ґрунтових вод створює особливу проблему в карсті, і його слід завжди мінімізувати та контролювати. Цей моніторинг має базуватися на подіях, а не просто виконуватися через регулярні проміжки часу, оскільки концентрації розчинних речовин і хімічних забруднювачів зазвичай найвищі в періоди низької води, однак саме під час злив і повеней найбільше забруднювачів переноситься через карстову систему.*

(69) *Уникайте високочастотного моніторингу у вразливих зонах, якщо це не конче необхідно, оскільки власне це може негативно вплинути. Автоматизований моніторинг, якщо це можливо, має бути пріоритетним.*

(70) *Правильні адміністративні органи мають визнавати невідновлювальну природу багатьох карстових об'єктів, особливо в межах печер, тому доцільно вимагати, аби пошкоджені об'єкти реставрувалися, наскільки це можливо на практиці.*

(71) *Наскільки це можливо, природні системи та процеси в карстових районах слід підтримувати або відновлювати. Якщо потрібне втручання, перевага надається використанню природних рішень, особливо тих, які працюють у балансі з природними процесами та характеризуються як більш екологічні та стійкі, ніж інженерні рішення.*

## **Залучення корінного населення до управління карстом**

(72) *Для будь-якої території під охороною, на якій живуть корінні народи, повинна існувати правова та політична основа для створення спільної системи регулювання з місцевим комітетом управління. Основними зацікавленими особами та правовласниками комітету є місцеві жителі та органи управління заповідними територіями, а другорядними зацікавленими сторонами є відповідні державні органи.*

- (73) Для тих карстових територій під охороною, на яких живуть корінні народи, потрібне зонування землі на основі традиційних знань і звичаєвих прав. В ідеалі це має включати зони контрольованого використання, де ведеться певна економічна діяльність, і повністю зони під охороною, де охорона природи є основною метою.
- (74) Керівництво національних парків, у яких живуть корінні народи, повинні розробити угоди про спільне управління з місцевими громадами, написані відповідною мовою, щоб кожна громада мала чітко визначену територію для управління та господарської діяльності.
- (75) Адміністрація національних парків, у яких проживають корінні народи, повинна залучати місцеве населення до діяльності з управління природоохоронними територіями. Діяльність рейнджерів і супровід туристів у печерах і на карстових екскурсіях надають значні можливості працевлаштування та можуть допомогти розширити можливості місцевої громади. Програми навчання рейнджерів і гідів природничій історії, мові, якою, ймовірно, користується більшість відвідувачів, є важливими.
- (76) Головною вимогою до найкращого передового управління є необхідність надавати відвідувачам правильну, науково достовірну інформацію та сприяти відповідним дослідженням із низьким впливом на печери та карстові зони.