

Кліматичні спостереження печери Озерна

Відносна вологість та інтенсивність випаровування.

Експеримент проводився переважно в Близньому районі печери Озерної з початку січня 2006 р. по початок березня 2007 р.

Мета: з'ясування можливості росту вторинних гіпсових кристалічних утворень в умовах печер Поділля за рахунок випаровування води з насичених сульфатних розчинів.

Методика: пробу води об'ємом 50 мл поміщали в ємність із харчового поліпропілену об'ємом 350 мл, площа поверхні, що випаровує, становила близько 0,005 м² (діаметр дзеркала води 80 мм). Воду для експерименту брали з печерних озер. Об'єм води визначали за допомогою мірного циліндра з точністю до 0,5 мл. Місця для розміщення проб вибиралися таким чином, щоб максимально охопити все розмаїття мікрокліматичних умов. Схема розміщення проб на плані печери представлена на Рис. 2. Час експозиції проб води - близько 1 року (з початку січня 2006 р. по початок січня 2007 р.). Крім того, на початку січня, початку лютого й початку березня 2007 р., тобто з інтервалом в 1 місяць, температуру й вологість контролювали за допомогою аспіраційних психрометрів типу ВІТ-1 з точністю до 0,1°С.

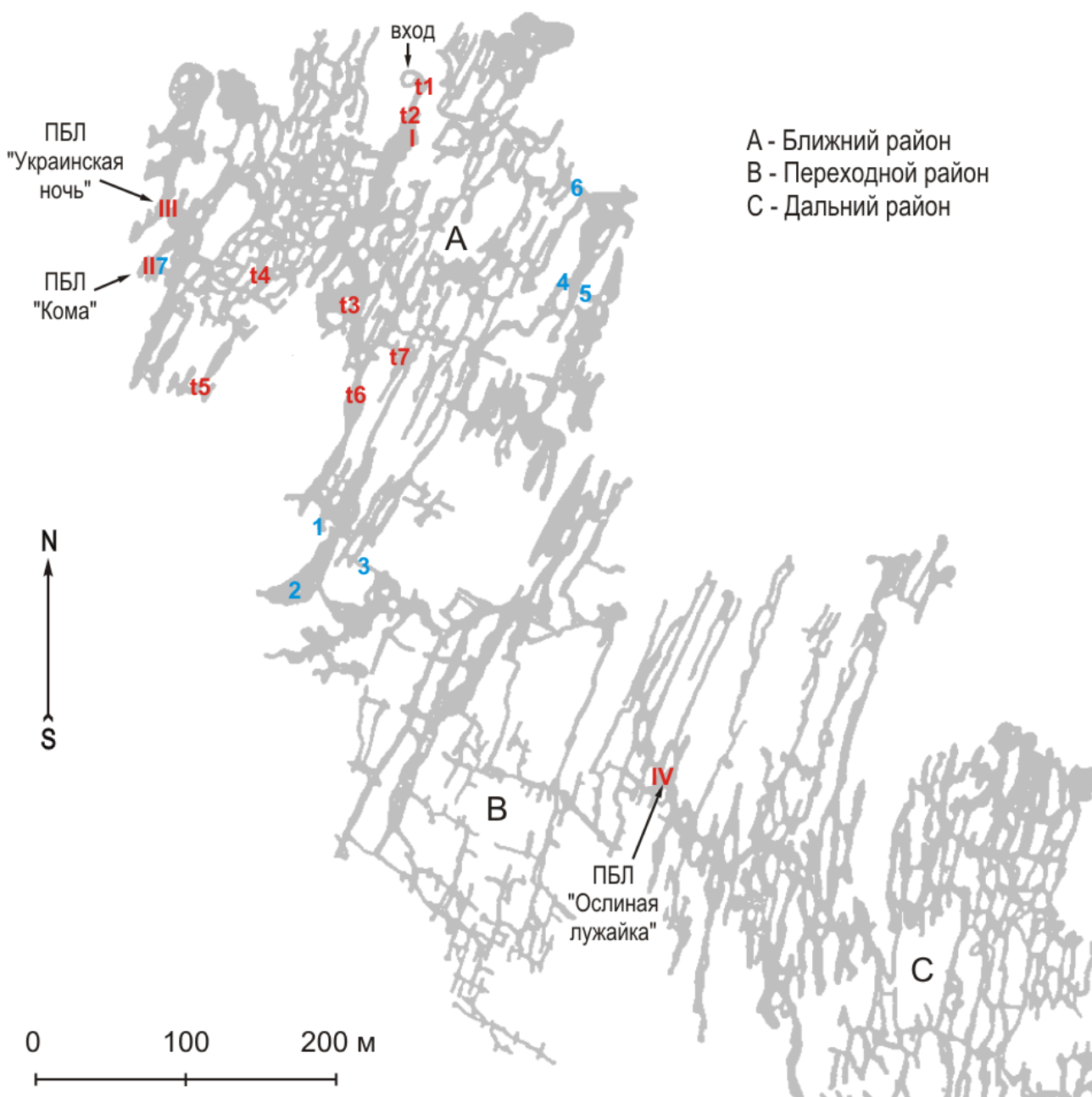


Рис. 2. Схема розміщення проб води й гігрометрів ВІТ-1 на плані печери.

Результати й обговорення: за представленими у Таб. 1. результатами, у половині випадків об'єм води протягом року взагалі не змінився, що свідчить про постійне рівноважне значення відносної вологості, близьке до 100%. У пробі 1 крім залишків води виявлений і невеликий твердий осад, що відповідає за складом крихті материнської породи. Можливо, цю пробу випадково зачепив хтось із спелеологів. Проби № 5 і 6 виявилися переповнені, що є індикатором існування стабільної «капелі» (за рахунок постійної конденсації повітряної вологи або інфільтрації ґрунтових вод). Слід також зазначити, що плівкова волога сприяє формуванню окремих більших кристалів і агрегатів у тих районах і ділянках стін, де умови сприятливі для росту кристалічних утворень. Як ілюстрація див., наприклад, Рис. 3. Разом з тим, тільки сама по собі плівкова волога не є достатньою умовою для росту кристалів, як це видно в місці розміщення проби 3.

Крім проб води на випаровування, була здійснена спроба контролю кліматичних параметрів за допомогою аспіраційних психрометрів, результати якої представлені в Таб. 2. Як видно з наведених даних, температура в різних районах печери винятково стабільна й не пов'язана із сезоном, і тільки у Вхідному залі спостерігаються невеликі коливання. Однакова температура сухого й зволоженого термометрів у всіх випадках також підтверджує значення відносної вологості в 100%, хоча аспіраційний психрометр і не забезпечує прийнятної точності показань при швидкості повітряного потоку менш 0,1 м/с і значеннях відносної вологості понад 90%.

Перспективи: у листопаді 2007 р. було встановлено 11 проб по 100 мл. води. З огляду на попередні результати, проби розміщені тільки в найбільш сухих ділянках печери. У цьому експерименті використана дистильована вода для визначення зміни її мінералізації при експозиції, яка повинна відбуватись за рахунок накопичення гідроаерозолів, у відповідності до механізму росту вторинних кристалічних утворень, що передбачений «аерозольною» гіпотезою [1]. У локаціях 5 і 6 (Таб. 1) встановлені порожні ємності об'ємом 1 л з метою збору й наступного аналізу проб води, що утворює плівку на вологих вторинних гіпсових кристалах, для визначення ступеня її насиченості сульфатом кальцію.

Таб. 1. Результати проб на випаровування.

№	Умови	Залишок, мл
1	тупиковий сухий хід із кристалами на стінах	27
2	велика брила над озером в обвальному залі нижнього ярусу	- (впала)
3	вузький хід з вологими стінами, повністю позбавленими кристалів	50
4	вузький хід із сухими кристалами на стінах	50
5	вузький хід, під великими вологими кристалами	>350
6	простора галерея, під великими вологими кристалами	>350
7	зал на перехресті просторих галерей без кристалів; склепіння над кухнею ПБТ	50

Таб. 2. Результати кліматичних вимірювань за допомогою гігрометрів ВІТ-1.

№	Умови	t _{сх} /t _{вол} , °С		
		01.2007	02.2007	03.2007
I	Вхідний зал, зв'язаний 13м колодязем із дном лійки на поверхні	8,8/8,8	8,6/8,6	9,2/9,2
II	зал на перехресті просторих галерей; склепіння над кухнею ПБТ	10,1/10,1	10,1/10,1	10,1/10,1
III	зал на перехресті просторих галерей; ПБТ	10,0/10,0	10,0/10,0	10,0/10,0
IV	перехрестя галерей; сполучення великих районів; ПБТ	9,8/9,8	9,8/9,8	9,8/9,8

Вимірювання швидкості повітря.

На протязі 2006 – 2008 р. нами було здійснено спроби виміряти швидкості руху повітря за допомогою легких частинок (крильчаток насіння ваточника сирійського – *Asclepias Syriace*). У більшості випадків результати не відтворювались через надто малі швидкості руху повітря (порядку ~10-2 м/с), лише у вхідному коридорі та поблизу ПБТ «Ослиная Лужайка» вдалось зафіксувати значення від 0,05 до 0,2 м/с. Проте в ході цих дослідів було помічено інше цікаве явище – утворення конвективної комірки навколо спостерігача (повітря нагрівається та підіймається над тілом людини, внаслідок чого встановлюється

зворотній рух повітря із «печерною» температурою до спелеолога знизу), що схематично зображено на Рис. 4.

Ці спостереження нашоухнули на думку про можливий істотний вплив теплового поля людини на результати вимірювань температури за допомогою аспіраційних гігрометрів та інших приладів із візуальним детектуванням, що надалі підтвердилось у ході прецезійних вимірювань температури за допомогою датчиків з автоматичною реєстрацією (термологерів) і отримало назву «ефекту спостерігача». Схоже явище («тепловий факел») спостерігалось і іншими дослідниками [2].

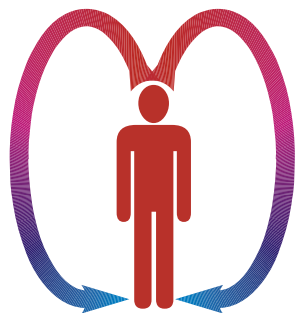


Рис. 4. Схема циркуляції повітря навколо спостерігача у «холодних» печерах.

Автоматична реєстрація температури за допомогою прецезійних сенсорів*.

Результати вимірювань у Близньому районі п. Озерна, 08 - 11.03.2008 р.

1. Різні ділянки в нейтральній зоні печери характеризуються істотно різними (кілька десятків °С) значеннями стаціонарної, тобто незалежної від добового ходу, температури повітря, див. Таб. 3.
2. Присутність спелеологів призводить до помітного (кілька десятків °С) підвищення температури повітря. Час релаксації (поступового спаду температури до стаціонарного значення) становить звичайно 2-4 години. Ефект залежить від розмірів, морфології ходу й швидкості руху повітря, найбільшою мірою проявляючись у тісних, слабо провітрюваних тупиках і верхніх частинах розрізу галерей. Наприклад, термограми, наведені на Рис. 5, свідчать, що у присутності дослідників (ділянка «2» графіку) температура під склепінням в середньому на 0,2°С вища температури біля підлоги галереї, дещо довший і час релаксації (ділянка «3»).
3. Різниці в стаціонарних значеннях температури повітря по розрізу ходів (ділянка «1» термограм на Рис. 5) не виявлено у межах роздільної здатності логерів (0,01°С), що свідчить про статичний, «низькоенергетичний» характер кліматичної системи принаймні Близнього району печери. Також не виявлено різниці температур води й повітря (зал Немо, t7), що цілком закономірно з точки зору термодинаміки при 100% відносній вологості повітря. Відому за літературними даними [3,4] різницю, як видно, варто віднести на рахунок «ефекту спостерігача», тобто впливу людини на теплове поле печери безпосередньо під час вимірювань.
4. В привхідній частині печери зафіксовані короткоперіодичні (10 – 40 хв.) хаотичні коливання, що не залежать від добового ходу температури (середня зовнішня температура в цей період становила близько +5 °С). Амплітуда коливань зменшується приблизно від 2,5°С в кількох метрах від металевої труби вхідного колодязя (t1) до 0,2°С на початку Вхідного залу (t2). Швидше за все, такі коливання свідчать про «печерний подих» (пульсації напрямку тяги повітря).

Таб. 3. Результати вимірювання стаціонарної температури повітря за допомогою термологерів.

№	Умови	t, °C (03.2008)
t1	початок вхідного коридору (перший поворот ходу)	5,7 ± 1,3
t2	початок Вхідного залу (розширення вхідного коридору)	8,8 ± 0,1
t3	невеликий тупиковий хід, район Хаток	9,23
t4	перехрестя просторих галерей всередині району	9,51
t5	об'ємна галерея, закінчується завалом (Східний проспект перед районом Морія)	9,61
t6	об'ємна магістральна галерея (Велетнів)	9,40
t7	високий зал із комином та озером (Немо), температура сухого / вологого сенсорів	9,32 / 9,32
t7	високий зал із комином та озером (Немо), температура води в озері	9,32

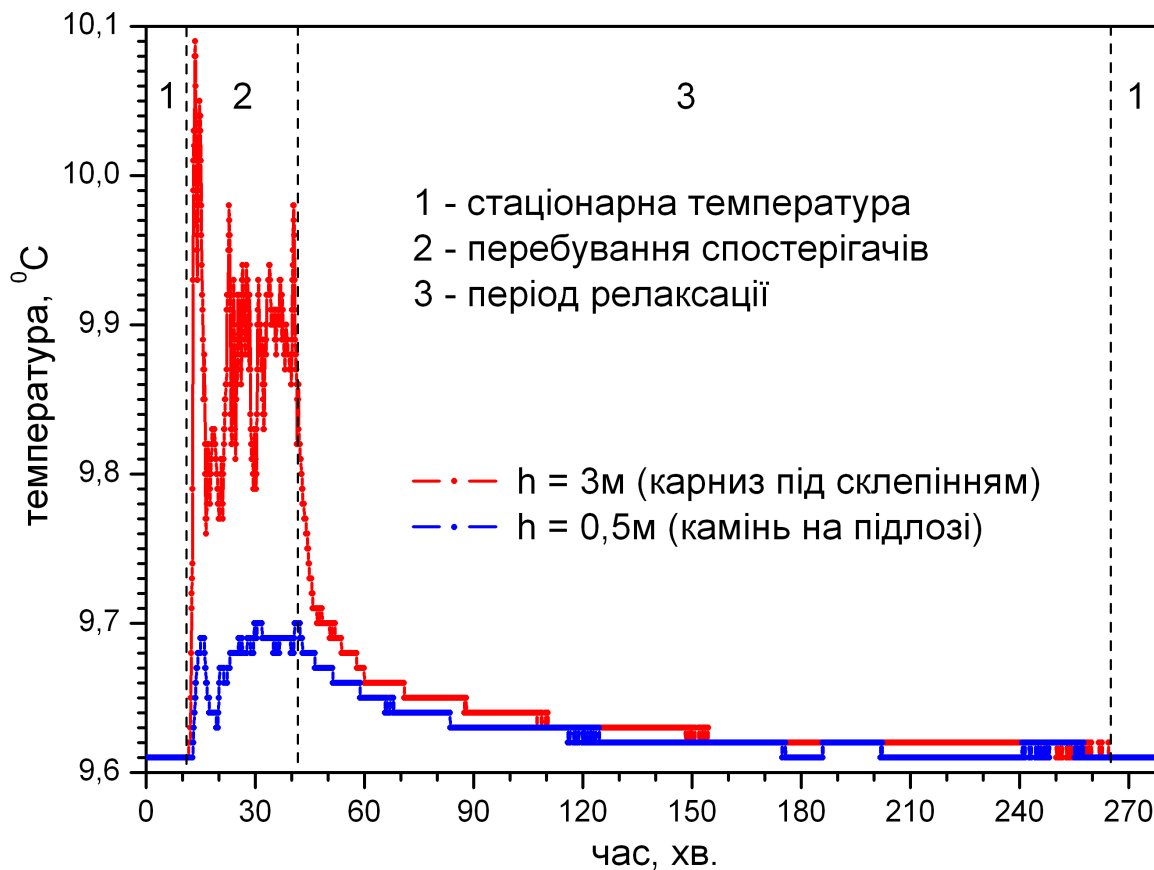


Рис. 5. Вплив присутності спостерігачів на температурний режим об'ємної галереї (Східний проспект, t5) в залежності від висоти (h) над рівнем підлоги.

* Результати отримані за допомогою термолігерів – пристроїв, що забезпечують автоматичний запис значень температури з роздільною здатністю $0,0^{\circ}\text{C}$ і заданим часовим інтервалом. Висновки варто розглядати як попередні, що потребують підтвердження статистично значимим масивом даних.

Перспективи: в майбутньому планується скласти сезонні карти розподілу температури повітря для всіх районів печери у теплий та холодний періоди року. Також заплановані вимірювання температури стін і спроби безпосереднього визначення напрямків і швидкостей сезонного руху повітря за допомогою методики «холодного диму». В перспективі це повинно призвести до комплексного опису кліматичної системи Озерної (а згодом і інших подібних гігантських печерних лабіринтів). Можливо, таке комплексне розуміння створить підстави для нових уявлень про механізми росту вторинних кристалічних утворень або надасть можливість пошуку нових продовжень печери за наявності температурних аномалій.

Деякі зауваження.

Підвищена іонізація повітря печер справді має місце, але не завдяки стронцію, що ізоморфно заміщує кальцій у складі кристалів гіпсу [4], а за рахунок високої концентрації газу радону у повітрі, особливо на ділянках з уповільненою вентиляцією [1]. Проте вміст озону, що утворюється при дії на кисень ультрафіолетового опромінення і атмосферних електричних розрядів, і взагалі вміст вільних радикалів у повітрі печер, навпаки, значно менший, ніж назовні. Тому специфічний запах озону, який інколи романтично називають «запахом сонця», відчувається саме при виході з печер, особливо у сонячну погоду.

У наукових дослідженнях брали участь В. Удовіченко, Т. Левченко, В. Сурова («Земляне», Київ), І. Штурма, О. Феценко («ACIS», Київ), В. Апостолук («Поділля», Тернопіль).