

УДК 551.5+51.584+515.16

МІКРОКЛІМАТИЧНІ<sup>1</sup> УМОВИ ФОРМУВАННЯ ГІПСОВО-АНГІДРИТОВИХ  
КУПОЛІВ У КАР'ЄРІ с. ПІСКИ БІЛЯ ЩИРЦЯ<sup>2</sup>

**Богдан Муха\***, **Мацей Бомбель\*\***, **Андрій Богуцький\***, **Андрій Бермес\***,  
**Андрій Яцишин\***, **Дам'ян Луговський\*\***, **Якуб Котовський\*\***

\* *Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. П. Дорошенка, 41, 79000, м. Львів, Україна,  
email: b.mukha@gmail.com, pleistocene@ukr.net, andriybermes@gmail.com, jacyshyn@yahoo.com*

\*\* *Варшавський університет,  
ал. Жвїркі і Візури, 93, 02-089, м. Варшава, Польща,  
e-mail: m.babel@uw.edu.pl, lugowski.damian@gmail.com, jb.kotowski@gmail.com*

Наведено результати дослідження впливу мікрокліматичних умов на формування гіпсово-ангидритових куполів і гротів внаслідок набухання пластів ангидритів у старому гіпсовому кар'єрі в с. Піски біля Щирця. Виконано цілодобові багатопунктові синхронні вимірювання температури та вологості повітря всередині гіпсово-ангидритових куполів, біля них та різних елементів котловану кар'єру з допомогою автоматичних електронних реєстраторів. Проаналізовано результати величин температури і вологості повітря, зареєстровані у п'ятнадцяти репрезентативних пунктах в умовах стабільної жаркої погоди. Величини середньодобових та екстремальних значень і добовий хід температури показано графічно. Зроблено висновок про залежність формування гіпсово-ангидритових куполів і гротів від доступу води з атмосферних опадів, ґрунтової, стокової зі схилів та конденсаційної. Вказано на підсилювальну дію мікрокліматичних умов на розвиток гіпсово-ангидритових куполів і гротів внаслідок набухання пластів ангидритів шляхом конденсації водяної пари на ангидритовому пласті в умовах аспірації вологого повітря через гроти.

*Ключові слова:* гіпсово-ангидритові куполи, гроти внаслідок набухання пластів ангидритів, ангидрити, гідратация, гіпс, мікрокліматичні умови, конденсація водяної пари.

Гіпсово-ангидритові куполи і гроти – дещо незвичний для фізико-географів об'єкт дослідження з огляду на те, що вони трапляються зрідка, мають специфіку розташування та механізм формування. Водночас ці об'єкти заслуговують на особливу увагу, бо вони є сучасними новоутвореннями, що активно розвиваються, відображаючи дію цілого комплексу сучасних фізико-географічних умов, через що можуть слугувати своєрідним індикатором дії цих умов з можливістю діагнозу механізму формування названих новоутворень та їхнього функціонування. Гіпсово-ангидритові куполи і гроти – це невеликі форми рельєфу, що утворюються у пластах ангидритів. Їхнє поширення на денній поверхні можна спостерігати за умови наявності пластів ангидритів, що бувають відкритими в кар'єрах гіпсоносних регіонів. Такими регіонами є Передкарпатський прогин і південно-західна частина Східноєвропейської платформи, де розташований гіпсовий кар'єр с. Піски біля Щирця, в якому розробка гіпсових нашарувань призупинена на ангидритовому пласті. Власне там наявні й розвиваються гіпсово-ангидритові куполи і гроти. Їх багато, вони досягли різних стадій сформова-

---

<sup>1</sup> Термін *мікроклімат* вважаємо відповідним для малих утворень – мікроформ рельєфу, елементів мезорельєфу мурашників, гіпсових куполів та ін.

<sup>2</sup> Дослідження профінансовано National Science Centre, Poland, grant no. DEC-2012/05/B/ST10/00918.

ності й віку: початкові, повністю розвинені та зруйновані (можливо, не без участі людей), що дає змогу зіставляти їх за різними критеріями, доступно вивчати.

Давніші описи подібних новоутворень виконані для областей поширення гіпсів у Німеччині, Канаді, Мексиці [2].

Основним способом формування куполів і гrotів є перетворення пласта ангідри-ту (безводного сульфату кальцію) у гіпс унаслідок гідратації (поглинання води). Під час гідратації відбувається збільшення об'єму пласта і відповідне “здуття”, чи його піднімання в центральній частині блока пласта за умови зафіксованості його країв. У німецькій мові для означення цих формацій використовують терміни *quellungshöhlen* – печери саморозвитку, набухання; в англійській мові – *swellings caves* – печерні набухання; у польській – *jaskinie z pęcznienia* [4] – печери з набухання, чи пічнявіння [1–5].

Перші описи цих сучасних утворень у старому кар'єрі с. Піски біля Щирця викона-ли проф. М. Бомбель (M. Babel) з Варшавського університету та проф. А. Богуцький зі Львівського університету [4].

Наші дослідження у кар'єрі, що біля с. Піски, виконані у червні–серпні 2014 р. з метою виявити мікрокліматичні відмінності у самому кар'єрі та в гіпсово-ангідритових куполах і гротах.

Мікрокліматичні вимірювання проводили за допомогою автономних автоматичних реєстраторів TGU 1500 та TGU 4500, які дуже добре зарекомендували себе в наших попередніх дослідженнях [6, 7]. Реєстратори інстальювали на висотах 0,5 та 2,0 м у характерних (малих і великих) куполах та на поперечному профілі через кар'єр, що охоплював зовнішній рівень поля за кар'єром, протилежні борти, схили і днище кар'єру.

Для цього ми використали 15 автоматичних автономних реєстраторів TGU 1500 і TGU 4500, запрограмованих на синхронну роботу з інтервалом вимірювання 15 хв цілодобово. Вимірювання тривало у період від 30 липня до 11 серпня 2014 р., однак для аналізу результатів використано лише дані, отримані за умов стійкої жаркої погоди, що становило в загальній сумі 21 504 виміряних значень. Пізніше цей масив експортували в таблиці Excell і опрацювали їх, порівнюючи дані з пунктів поперечного профілю через кар'єр та з різних гіпсово-ангідритових куполів.

Порівнювали графіки динаміки параметрів температури та вологості повітря в обра-них для аналізу пунктах. Пункти обирали двічі: один раз за умов польової інсталяції реєстраторів, щоб охопити мікрокліматичну різноманітність пунктів кар'єру, а вдруге – для аналізу динаміки виміряних параметрів. Основними для аналізу обрали гіпсово-ангідритові куполи з назвами “Новий” і “Великий”, як найбільш розвинені та характерні.

За формою гіпсово-ангідритові форми кар'єру в Пісках подібні до невеликих (1–7 м) у діаметрі куполів, чи горбків різної форми, висоти (0,5–2,0 м) та орієнтації, утворених піднятим пластом ангідритів. Ці новоутворення іноді подібні до двосхилового даху (див. рис. 1), або овальні в горизонтальній проекції та опуклі у вертикальному перерізі (див. рис. 2). Атрибутною рисою гіпсово-ангідритових куполів є порожнина під піднятим пластом, який формує покрівлю цієї порожнини, утворюючи своєрідну невелику печеру, чи гrot. В процесі гідратації ангідри-ту відбулася перекристалізація пласту і він уже не може набути колишнього об'єму і форми. Дах такої печери поколотий на блоки, що ще зберігають колишню єдність, однак ще достатньо міцний

і витримує масу однієї–трьох дорослих людей. У печерах іноді трапляються водяні калюжі. У печерку можна входити (за умови дотримання потрібних заходів безпеки) навприсядки чи повзком, що залежить від розмірів входу і відвідувача (див. рис. 1, 2).

Основною умовою гідратації ангідриту є надходження до пласту достатньої кількості води. Джерелами її надходження можуть бути атмосферні опади, ґрунтові води, поверхневий стік, а ще конденсаційна вода, що може насичувати пористі породи за умови перебування дотичного до пласта ангідриту повітря в такому стані його вологості й температури, коли з нього виділяється роса.



Рис. 1. Печера набухання в гіпсово-ангидритовому куполі “Новий” у гіпсовому кар’єрі с. Піски. Видно два реєстратори, підвішені у гроті (білі коробочки розміром 15×15 см)

На підставі чинників гідратації ангідриту можемо стверджувати, що геохімічний процес гідратації ангідриту відбувається з різною швидкістю, яка залежить від умов доступу води, її кількості, температури води і температури пласта ангідриту. Після утворення куполів процес їхнього росту і модифікації продовжується залежно від умов прогрівання і провітрювання, тобто від експозиції покрівлі до сонця, від цілісності покрівлі, від формування протягу повітря через грот, від експозиції входу в грот стосовно напрямку руху приземного шару повітря.

Усе це фізико-географічні параметри, а тому важливо дослідити їх, зокрема, реєструвати динаміку температури та вологості повітря в межах елементів котловану кар’єру, зовні та всередині куполів. Результати вимірювань дають підстави для інтерпретації та породжують нові запитання.



Рис. 2. Гіпсово-ангідритовий купол “Великий”. Видно вхід до печери набухання.  
Ліворуч стоїть М. Бомбель, праворуч – Я. Котовський

Ми склали також графік ходу метеопараметрів на поперечному профілі всього кар’єру. Кар’єр має приблизно такі розміри, м: довжина – 500, ширина по дніщу – 150, по верхньому уступу – 250, глибина – 20. Бокові схили дуже круті й урвисті (див. рис. 3), що створює умови для застоювання повітря в котловані й розвитку специфічних процесів трансформації цього повітря: у безвітряну погоду воно вдень сильно прогрівається, а в безхмарні ночі радіаційно вихолоджується. Окрім того, з надходженням холодного повітря найхолодніше і найважче повітря стікає до дніща котловану кар’єру, входить у гроти і куполи та може бути звідти виведене тільки в разі видування сильним вітром або конвективними потоками після відповідного прогрівання “котлованного” повітря.

Ми також представили графік ходу метеопараметрів на поперечному профілі всього кар’єру. Середні значення температури та відносної вологості повітря при елементах рельєфу котловану кар’єру і в гіпсово-ангідритових куполах протягом тижневого періоду стійкої жаркої погоди відображені на рис. 4.

Середньодобові значення температури повітря на майже всіх пунктах спостереження в кар’єрі протягом восьми днів жаркої погоди становили близько 24 °С, однак екстремальні значення таки виявились, вони зафіксовані у таких пунктах: максимальна температура 42,6 °С зареєстрована на поверхні купола “Новий” та на дніщі котловану кар’єру (40,1 °С); мінімальна температура 12,8 °С зареєстрована одразу в трьох пунк-



тах – на днищі кар’єру та всередині обох куполів, що відповідає найнижчим гіпсометричним рівням.



Рис. 3. Північний боковий борт котловану кар’єру

З аналізу добового ходу температури в більшості пунктів максимальні значення температури формуються між 14- і 16-ю годинами. Найхолоднішим протягом доби в період досліджень виявився час між 5- і 7-ю годинами ранку. Цікавим також є аналіз добових амплітуд температури. Найбільшими вони були на відкритих ділянках і досягали 25–27 °С. Найменші амплітуди (3–5 °С) зареєстровані під дахом гіпсово-ангідритових куполів, зокрема, у тильній частині гротового простору, що свідчить про відносну відокремленість та захищеність внутрішнього простору гротів від навколишнього повітря (див. рис. 5).

Динаміка відносної вологості у пунктах спостереження за період жаркої погоди також дуже імпульсивна. На відкритих територіях коливання вологості відбувалося між 30 і 90 %, а під гіпсово-ангідритовими куполами – у діапазоні 50–100 %.

Зазначимо, що під куполом “Новий”, що менший за розмірами, вологість віддалена від стану насичення, тоді як під куполом “Великий” високий рівень вологості реєстрували часто, особливо вночі, коли вологість досягала 100 %. Це означає, що в такому стані можливе виділення з повітря й осідання роси, яка сприятиме інтенсифікації гідратації ангідритів. У цій ситуації можна стверджувати, що формування гіпсово-ангідритових куполів може самоінтенсифікуватися, бо сам купол створює для цього відповідні умови конденсації вологи.

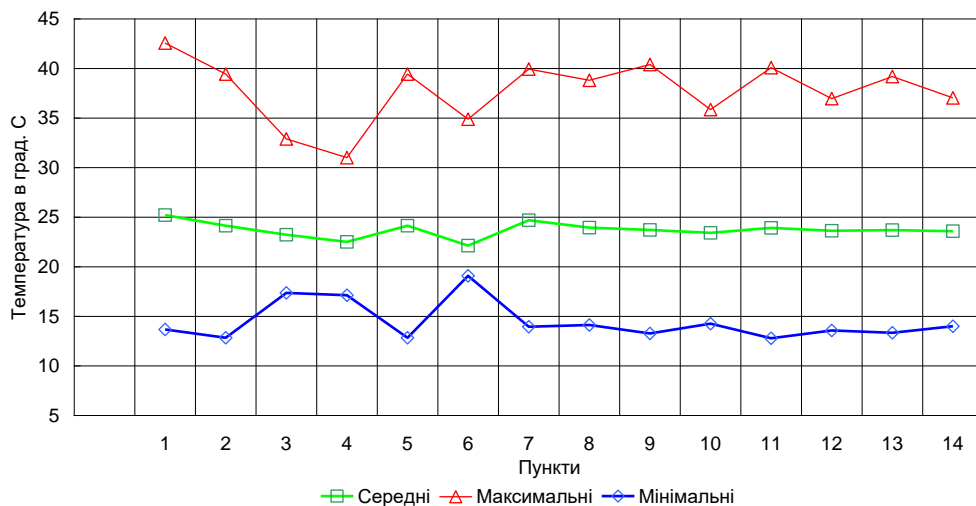


Рис. 4. Середньодобові значення температури повітря у обраних пунктах за період спостереження: *пункти купола "Новий": 1 – на поверхні купола з сонячної сторони; 2 – над куполом 0,5 м; 3 – у центрі грота під куполом; 4 – у тильній частині грота; пункти купола "Великий": 5 – у центрі грота; 6 – на вершині купола; 7 – у тильній частині грота; пункти котловану кар'єру: 8 – середина схилу південної експозиції; 9 – борт схилу південної експозиції на 0,5 м; 10 – борт схилу північної експозиції на 0,5 м; пункти днища котловану кар'єру: 11 – на висоті 0,5 м; 12 – на висоті 2,0 м; 13 – схил південної експозиції на висоті 0,5 м; 14 – борт схилу північної експозиції на висоті 2,0 м*

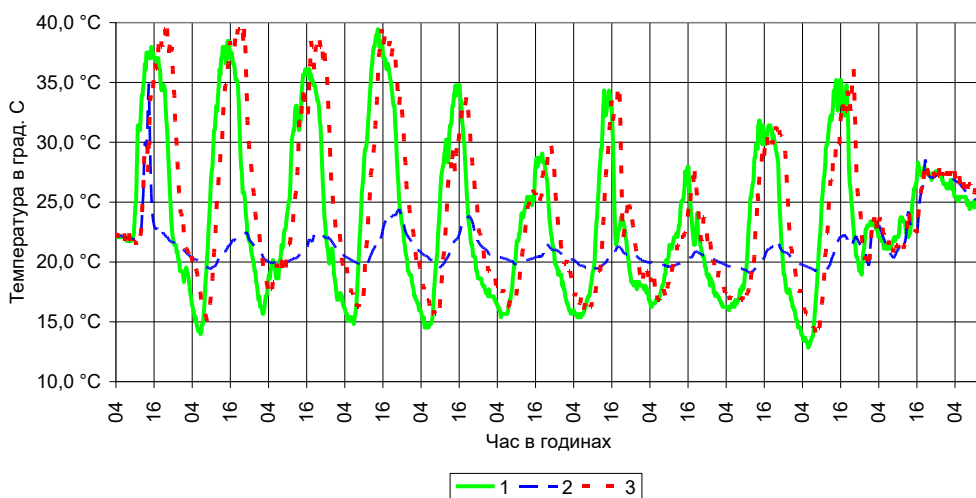


Рис. 5. Добова динаміка температури повітря при гіпсово-ангідритовому куполі "Великий" 1–9 серпня 2014 р.: 1 – центр грота; 2 – тил грота під куполом; 3 – на вершині купола



Рис. 6. Загальний вигляд старого гіпсового кар'єру с. Піски з гіпсово-ангідритовими куполами на його дні

Отже, у гіпсовому кар'єрі с. Піски, що поблизу Щирця (рис. 6), виникли сприятливі умови для формування обширного поля гіпсово-ангідритових куполів, а саме:

- відкритий на днищі кар'єру пласт ангідриту;
- його залягання на глибині, що майже збігається з рівнем ґрунтових вод;
- відкритість до опадів протягом усього року і притікання поверхневих вод;
- відсутність умов відтоку ґрунтових і поверхневих вод;
- високі температури повітря, що є умовою збільшеного вмісту водяної пари в ньому [1];
- створення умов (охолодження в гроті гіпсово-ангідритового купола) для конденсації водяної пари на пластах ангідриту і насичення пластів конденсаційною водою;
- високі амплітуди добового і сезонного коливання температури повітря, що можуть сприяти не тільки нерівномірному росту гіпсово-ангідритових куполів, а й їхньому руйнуванню через інтенсифікацію фізичного зв'язування пласта.

Проблема потребує подальшого дослідження і глибшої інтерпретації.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Муха Б. П. Випаровування в Українському Розточчі (за матеріалами Розтоцького ландшафтно-геофізичного стаціонару) / Б. П. Муха, І. Г. Булаченко, М. Ю. Мельничук // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геогр. – 2014. – Вип. 48. – С. 117–124.
2. Немецко-русский геофизический словарь. – М. : Гос. изд-во геофиз. л-ры, 1959. – 409 с.

3. Словарь географических терминов / [пер. с англ. В. Я. Барласа и др.]. – М. : Прогресс, 1976. – Т. II. – 394 с.
4. *Babel M.* Gypsum tumuli and phenomena of gypsum swelling in karst landscapes of Poland and Ukraine / М. Babel, А. Bogucky // Геоморфологія України: минуле, сучасне, майбутнє : матеріали міжнар. конф. – Львів, 2002. – С. 79–83.
5. Brockhaus-Taschenbuch der Geologie. Die Entwicklungsgeschichte der Erde. Mit einem ABC der Geologie. – Leipzig : VEB F. A. Brockhausverlag, 1961. – 772 s.
6. *Mucha B.* Badania na stacji terenowej Wydziału Geografii Uniwersytetu Lwowskiego na Roztoczu Południowym / В. Mucha // Regionalne studia ekologiczno-krajobrazowe. Problemy ekologii krajobrazu. – Warszawa, 2006. – Т. 16. – С. 283–295.
7. *Mucha B.* Studying topoclimate with the help of Gemini data loggers Tinytag Ultra 2k TGU-1500 / В. Mucha // Problems of the technical meteorology. Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Conference. Ukraine, Lviv, 10–14 September 2002. – Lviv, 2002. – S. 73–75.

## REFERENCES

1. Mukha, B. P., Bulavenko, I. H., & Melnychuk, M. Yu. (2014). Evaporation in Ukrainian Roztochia (for materials belongs to the Rostochye landscape geophysical full-time department). *Visnyk of the Lviv University. Series Geography*, 48, 117–124 (in Ukrainian).
2. *Nemecko-russkij geofizicheskij slovar'* (1959). Moskva: Gosudarstvennoe izdatelstvo geofizicheskoy literatury, 409 pp. (in Russian).
3. *Slovar' geograficheskikh terminov*, 2 (1976). Perevod s anglijskogo V. Ja. Barlas i dr. Moskva: Progress, 394 pp. (in Russian).
4. Babel, M., & Bogucky, A. (2002). Gypsum tumuli and phenomena of gypsum swelling in karst landscapes of Poland and Ukraine. Proceedings from: Krawchuk, Y. S., Bogucky, A. B., Kowalchuk, I. P. (Eds.). *Geomorphology of Ukraine: past, present, future*, Lviv, 79–83.
5. *Brockhaus-Taschenbuch der Geologie. Die Entwicklungsgeschichte der Erde. Mit einem ABC der Geologie* (1961). Leipzig: VEB F. A. Brockhausverlag, 772 pp.
6. Mucha, B. (2006). Badania na stacji terenowej Wydziału Geografii Uniwersytetu Lwowskiego na Roztoczu Południowym. *Regionalne studia ekologiczno-krajobrazowe. Problemy ekologii krajobrazu*, 16, Warszawa, 283–295 (in Polish).
7. Mucha, B. (2002). Studying topoclimate with the help of Gemini data loggers Tinytag Ultra 2k TGU-1500. Proceedings from: *Problems of the technical meteorology* (the 2<sup>nd</sup> International Conference, Ukraine, Lviv, 10–14 September 2002). Lviv, 73–75.

Стаття: надійшла до редакції 07.10.2015

доопрацьована 17.11.2015

прийнята до друку 03.12.2015



**MICROCLIMATIC CONDITIONS OF THE GYPSUM-ANHYDRITE DOMES  
FORMATION IN THE PISKY QUARRY NEAR SCHYRETS'****Bohdan Mucha<sup>\*</sup>, Maciej Babel<sup>\*\*</sup>, Andriy Bogucki<sup>\*</sup>, Andriy Bermes<sup>\*</sup>,  
Andriy Yatsyshyn<sup>\*</sup>, Damian Ługowski<sup>\*\*</sup>, Jakub Kotowski<sup>\*\*</sup>**<sup>\*</sup> *Ivan Franko National University of Lviv,**P. Doroshenko Str., 41, UA – 79000 Lviv, Ukraine,**email: b.mukha@gmail.com, pleistocene@ukr.net, andriybermes@gmail.com, jacyshyn@yahoo.com*<sup>\*\*</sup> *University of Warsaw,**al. Żwirki i Wigury, 93, PL – 02-089 Warszawa, Poland,**e-mail: m.babel@uw.edu.pl, lugowski.damian@gmail.com, jb.kotowski@gmail.com*

The results of the investigation of the influence of the microclimatic conditions on the weathering (hydration) of anhydrite and the formation of gypsum domes and caves from swelling of the anhydrite beds in the Pisky quarry are presented. The whole day synchronous measurements of temperature and humidity, with an interval of 15 minutes, were conducted in the selected points within the gypsum-anhydrite domes (inside the caves), in the vicinity of the domes, and in the variable sites of the stone pit, with the use of the automatic electronic recording devices. The values of temperature and humidity from 15 representative sites, recorded during the stable hot weather conditions, have been analysed. The average diurnal and extreme values, and the diurnal run of the temperature have been shown on the graphic drawings. The reasoning has been made about the dependence of the gypsum domes and caves formation on the conditions of availability of the water; the water from precipitation, the ground water, the water running down the slopes, and the condensation water. It has been pointed out that microclimatic conditions influence the development of gypsum domes and caves from swelling of the anhydrite beds through the condensation of water onto the anhydrite bed in the conditions of aspiration of the humid air through the caves.

*Key words:* gypsum domes, caves from swelling of the anhydrite beds, anhydrite rocks, hydration, gypsum, microclimatic conditions, condensation of water vapor.