

Powstawanie minerałów w pustkach krasowych badeńskich gipsów Przedkarpacia

Igor I. Turchinov*

Minerały (siarczany, węglany, krzemiany, tlenki i wodorotlenki) powstałe w pustkach krasowych w gipsach badeńskich są wynikiem krystalizacji: ze swobodnie płynącej wody po utracie dwutlenku węgla; po ewaporacji cienkiej warstewki wody; po ewaporacji wyciekającej wody interstycjalnej; w ilowych wypełnieniach pustek; z wody występującej w szczelinach; subakwalnej; z aerozoli; żeli; lodu; a także precipitacji biochemicznej.

Procesy powstawania minerałów w badanych pustkach krasowych są niskotemperaturowe. Przeważają speleotemy powstałe w warunkach subaeralnych, a ich wzrost był warunkowany przez prądy powietrza w jaskiniach.

Słowa kluczowe: Przedkarpacie, jaskinie, pustki krasowe, gipsy badeńskie, speleotemy

Igor I. Turchinov — **Mineral formation in karst cavities of the middle Miocene Badenian gypsum in the Carpathian Foredeep (Ukraine and Poland).** Prz. Geol., 47: 813–817.

S u m m a r y. Minerals (sulphates, carbonates, silicates, oxides and hydroxides) occurring in karst cavities of the Badenian gypsum originated due to the following processes: crystallization from free flowing water after carbon dioxide loss; crystallization after evaporation of thin film of water; crystallization after evaporation of seeping interstitial water; crystallization in clay filling of cavities; crystallization from water in joints; subaqueous crystallization; crystallization from aerosols; crystallization of gels; biochemical precipitation; and freezing crystallization.

Processes of mineral formation in the studied cavities are low-temperature. Subaerially-formed speleothems predominate, and their growth is controlled by air currents in the caves.

Key words: Carpathian Foredeep, caves, karst cavities, Badenian gypsum, speleothems

Formy krasowe — zarówno powierzchniowe, jak i podziemne — są rozwinięte na dużą skalę w badeńskich gipsach Przedkarpacia (ryc. 1). Materiał wypełniający pustki krasowe może być przyniesiony mechanicznie (głazy, rumosz skalny, piasek, ił) lub mieć genezę chemiczną (wtórne utwory mineralne — speleotemy). Pustki krasowe są idealnym środowiskiem dla powstawania minerałów, a rejon Przedkarpacia nie jest pod tym względem wyjątkiem.

Niniejszy artykuł jest podsumowaniem wieloletnich badań autora. Badania warunków powstawania minerałów w gipsach tego rejonu prowadzono w jaskiniach. Na Przedkarpaciu występuje 5 większych jaskiń świata, z których największa — Optymistyczna — ma ogółem długość 205 km (licząc wszystkie chodniki). Temperatura powietrza w jaskiniach wynosi +8,2 do +10,5°C, a wilgotność — 96–100% (Dublanski & Lomayev, 1980). Ostatnio w powietrzu pustek krasowych stwierdzono wysoką zawartość radonu — do 23700 Bq/m³ (Klimchuk & Nasedkin, 1992).

Minerały tworzące się w pustkach krasu siarczanowego Przedkarpacia reprezentują siarczany (gips, celestyn), węglany (kalcyt, rodochrozyt), krzemiany (chalcedon), tlenki i wodorotlenki. Minerały te tworzą odpowiednie agregaty (kryształy, stalaktyty, stalagmity itp.) o różnej genezie.

Siarczany

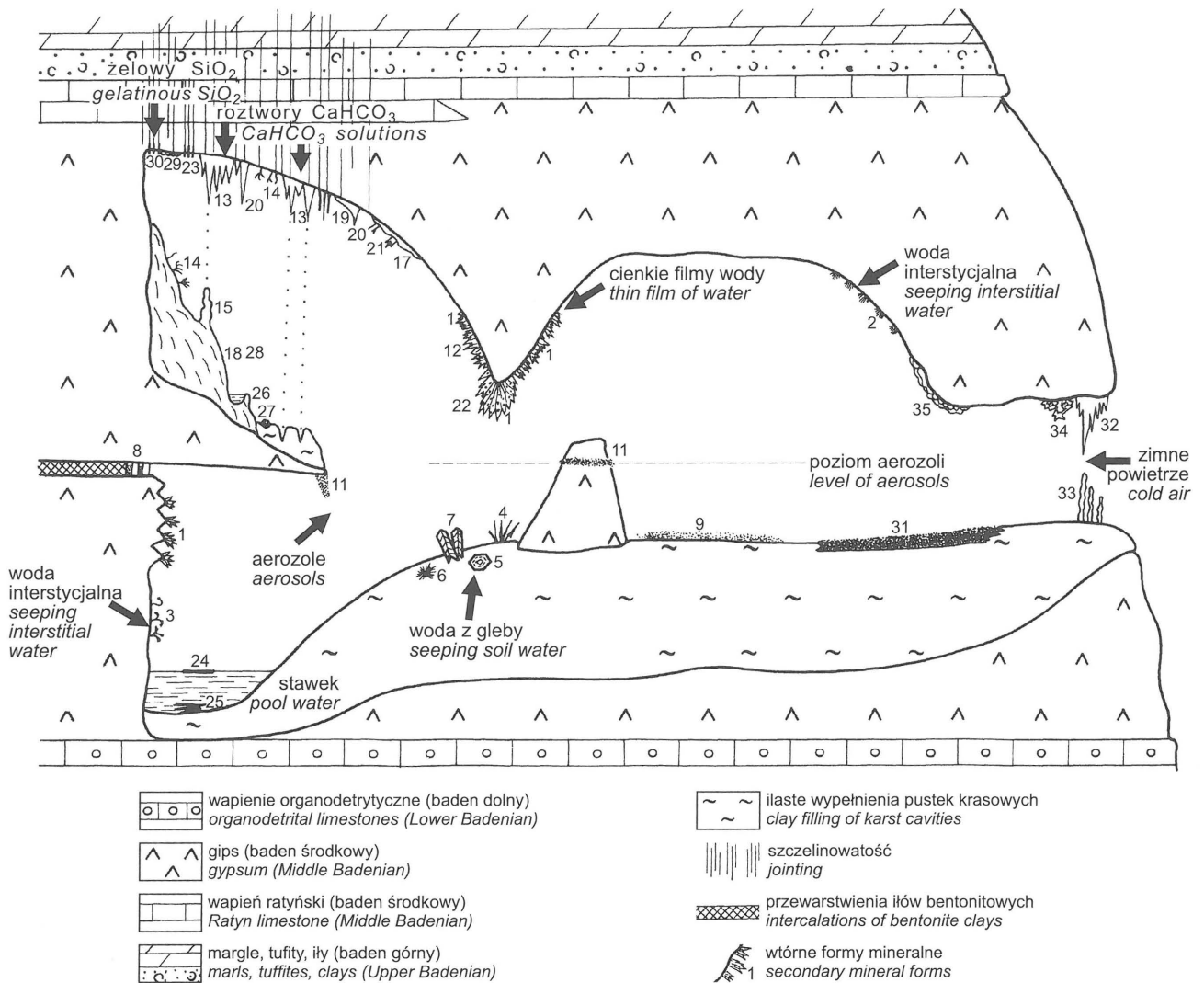
Głównym minerałem wtórnym w pustkach krasowych Przedkarpacia jest gips. Najczęściej spotyka się gips wtórny, tworzący się w rezultacie krystalizacji przy wyparowaniu kapilarnej warstewki roztworu siarczanu wapnia i mający formę kryształów spotykanych jako oddzielne druzo lub zwarte pokrywy na ścianach i sklepieniach pustek

(ryc. 2–4**). Rozmiary tych kryształów wahają się w szerokich granicach (od kilku mm do 80 cm, na ogół 2–10 cm). Najczęściej obserwuje się przezroczyste lub białe kryształy, ale napotyka się także różowe, żółte, pomarańczowe, brunatne i czarne odmiany, których barwa jest uzależniona od domieszek związków żelaza i manganu, a także cząstek ilastych i organicznych (ryc. 5). Niektóre duże kryształy zawierają inkluzje drobnych kryształów celestynu i sferolitów kalcytu, które rosły równocześnie z kryształem na jego powierzchni i były przez niego porwane w procesie wzrostu. Często napotyka się zbliźniczenia typu „jaskółczy ogon” (ryc. 6). Powierzchnia kryształów jest często pokryta charakterystyczną rzeźbą, związaną zarówno z wzrostem kryształów, jak i ich rozpuszczaniem.

Wcześniej kryształy te były uważane za twory subakwalne, powstałe w powoli płynących wodach, przesyconych względem siarczanu wapnia (Dublanski & Lomayev, 1980; Rogozhnikov, 1984), jednak wiele czynników (brak ciągłej pokrywy krystalicznej na całej powierzchni ścian kawern; przywiązanie agregatów krystalicznych do części jaskiń, cechujących się dobrą wentylacją; zależność lokalizacji i orientacji kryształów od prędkości i kierunków potoków powietrza) wskazują na genezę subaeralną. Przemawiają za tym także wyniki badań chemizmu wód krasowych w badeńskich gipsach Przedkarpacia (Klimchuk i in., 1988) wskazujące, iż wody krasowe praktycznie nigdy nie osiągają stanu przesylenia względem siarczanu wapnia. Dla opisywanego typu kryształów proponuje się model wzrostu w warunkach warstewki kapilarnej. Wody kondensacyjne i infiltracyjne tworzą bardzo cienką warstewkę, pokrywającą ściany i sklepienia pustek. Wody te bardzo szybko osiągają stadium nasycenia i przesylenia względem siarczanu wapnia, rozpuszczając pierwotny gips. Przy parowaniu warstewki następuje zarodkowanie i wzrost kryształów. Zarodkami kryształów są kryształki pierwotnego gipsu podłoża. Największe rozprzestrzenienie kryształów obserwuje się w miejscach o odczuwalnym ruchu

*Lvivska geologorozviduvalna ekspeditsia, Turgenewa 33, 290018 Lviv, Ukraina

**ryc. 2, 5–14 p. III i IV str. okładki, s. 959–960.



Ryc. 1. Warunki powstawania minerałów w jaskiniach w gipsach rejonu zapadliska przedkarpackiego (wg Turchinov, 1997, z uzupełnieniami)
Fig. 1. Conditions of mineral formation in the gypsum caves in the Carpathian Foredeep region (Turchinov, 1997, with additions)

powietrza (co powoduje szybsze parowanie warstewki i odpowiednio intensywniejszy wzrost kryształów).

W przypadku szybkiego intensywnego parowania wód, ściekających po ścianach jaskiń, tworzy się duża ilość ośrodków krystalizacji gipsu. W rezultacie powstają zwarte drobnokrystaliczne gipsowe pokrywy, pokrywające ściany jaskiń i mające budowę ziarnistą lub włóknistą w przekroju (Hill & Forti, 1986). Takie pokrywy obserwuje się w niektórych jaskiniach Poniżnia (Skorocicka, Skotniki Górne).

Jeszcze inną dużą grupę wtórnych utworów gipsowych tworzą agregaty powstające w wyniku wyparowania porowych (interstycjalnych) roztworów, sączących się ze skał. W jaskiniach Naddniestrza zostały one po raz pierwszy opisane przez Rogozhnikova (1984). Formy te tworzą się w miejscach ujścia roztworów porowych do pustki w warunkach obniżonej wilgotności i dobrej wentylacji. Do tej grupy należą gipsowe wykwitły na ścianach jaskiń (ryc. 7). Często tworzą one znaczne skupiska, niekiedy zrastające się ze sobą. Wykwitły składają się z włóknistych, często wygiętych kryształów gipsu. Rzadziej spotyka się tzw. „gipsowe kwiaty” (antodity) — wygięte, spiralnie zakręcające się, rozszczepiające się agregaty kryształów o dł. do kilku cm (ryc. 8). Tworzą się one w miejscach punk-

towego wyjścia roztworów porowych, a ich forma jest uwarunkowana nierówną prędkością wzrostu poszczególnych osobników. W miejscu wyparowania roztworów, wydzielających się z iłów wypełniających pustki, tworzą się igły gipsowe — długie (do 27 cm) i cienkie (do 4 mm) igłowe bliźniaki gipsu.

Agregaty gipsowe, tworzące się w górnej części profilu ilastego wypełnienia pustek krasowych także tworzą dużą grupę genetyczną. Najczęściej spotyka się konkretje gipsu przezroczystego, zawierające inkluzje cząstek iłu i niekiedy mające budowę strefową. Szeroko są rozprzestrzenione także bliźniaki typu „jaskółczy ogon” — twory o długości 7–15 cm i szerokości 1–3 cm, barwy żółtoszarej. Rzadziej spotyka się krzyżowate bliźniaki. W ilastym wypełnieniu jaskiń tworzą się także gipsowe „róże” — zrosty soczewkowatych kryształów gipsu.

Scharakteryzowane powyżej agregaty tworzą się w wyniku wyparowania roztworu siarczanu wapnia, podnoszącego się kapilarami ku powierzchni ilastego wypełnienia.

W szczelinach iłów bentonitowych, występujących wśród gipsów, napotyka się żyłki gipsu równoległo-włóknistego (*satın spar*) o grubości od 1 mm do 3 cm, o barwie białej lub miodowożółtej.

Najbardziej interesująca z naukowego punktu widzenia i najmniej poznana jest grupa agregatów wtórnego gipsu (Klimchuk i in., 1995; Turchinov, 1994), dla których przyjmuje się genezę aerorozolową — krystalizacji materiału przyniesionego w formie aerorozolowej w atmosferze jaskiń. Do grupy tej należy tzw. gipsowy „śnieg”, iglaste szronowate kryształki i obramowania. Gipsowy „śnieg” tworzy nagromadzenia na wystęпах ścian i oderwanych blokach małych przezroczystych kryształków gipsu. Te skupienia zazwyczaj mają kształt wyciągnięty w przekroju i mogą osiągać znaczne rozmiary (ryc. 9). Główną osobliwością kryształków tworzących śnieg jest brak przymocowania do podłoża. Miąższość nagromadzeń gipsowego śniegu może osiągać 15 cm.

Mikroskopowe badania wykazały, że najmniejsze składniki tworzące śnieg to snopkowate i promieniste kryształki gipsu o wielkości dziesiątych części mm.

Rozmieszczenie gipsowego „śniegu” i morfologia tworzących go agregatów sugeruje, iż zarodki składników „śniegu” powstają w środowisku powietrznym w rezultacie wyparowania kropli hydroaerorozolu roztworu siarczanu wapnia. Tworzą się przy tym mikroskopowe kryształki gipsu i ich agregaty snopkowe i promieniste, które mogą przenosić się powietrznymi strumieniami na znaczne odległości. Osiedlanie takich agregatów może zachodzić w miarę zwiększania ich ciężaru w procesie wzrostu albo przy zmniejszonej prędkości strumienia powietrznego (np. przy wyjściu w pustkę o większej objętości). Cząstki „śniegu” osiadają wzdłuż osi strumienia powietrza, co warunkuje wydłużenie nagromadzeń „śniegu” w rzucie na płaszczyznę. Niekiedy długość chodników „śniegu” może osiągać 300 m przy szerokości 10–15 cm. Cząstki, które osadziły się, zazwyczaj są pokrywane kapilarną warstewką wody, co powoduje ich rozpuszczanie i rekrytalizację. W rezultacie tworzą się przezroczyste tabliczkowate kryształki o wielkości do 1,5 cm.

Hydroaerorozole mogą brać udział w powstawaniu krystalicznych agregatów na ścianach pustek. Agregaty te odróżniają się od wcześniej opisanych kryształów o genezie błonowej charakterystycznym iglastym szronowatym zarysem, większą czystością chemiczną i swoistą lokalizacją (ryc. 10). Często obserwuje się je w formie smug z ostro wyrażonymi granicami, niekiedy śledzącymi się na ścianach chodników i owalnych gładach na tym samym poziomie na odcinku kilkudziesięciu metrów (ryc. 11a, b). Świadczy to o stratyfikacji atmosfery jaskini i jednym poziomie przenoszenia aerorozoli w warunkach spokojnych laminarnych strumieni powietrza (Turchinov, 1993, 1994).

Do form o genezie aerorozolowej należą także obramowania — nieszczelne nagromadzenia drobnych kryształków gipsu wokół ujść chodników, wchodzących w pustki o większych rozmiarach. Powstawanie obramowań jest związane z wyparowaniem kropli hydroaerorozolu przy wyjściu w pustkę o mniejszej wilgotności i osadzeniem powstałych kryształów wokół otworu ujściowego (Klimchuk i in., 1995).

Geneza aerorozoli w jaskiniach gipsowych Przedkarpacia pozostaje nie do końca wyjaśniona. Zazwyczaj aerorozole w jaskiniach tworzą się przy rozbryzgu kropli wody padającej ze stropu, ale dla jaskiń omawianego rejonu, gdzie wyciek ze stropu jest bardzo rzadki, model taki nie może być zaakceptowany. Wydaje się, że powstanie aerorozoli jest tutaj związane z oddziaływaniem na gips wysokoenergetycznych (5,482 MeV) cząstek α , tworzących się przy rozpadzie radonu. Powoduje to rozpad sieci krystalicznej minerału i tworzą się swobodne jony i ich grupy, które dostają się do środowiska powietrznego i absorbują kropelki wody (Klimchuk i in., 1995).

Oprócz gipsu, w pustkach krasowych w gipsach badeńskich spotyka się także celestyn. W jaskini Optymistyczna występuje on w formie niewielkich (do kilku milimetrów) krótkich przyrmatycznych kryształów bladoniebieskiej barwy, zamkniętych wewnątrz dużych kryształów gipsu. Lazarenko & Srebrodolski (1969) opisali także celestyn, spotykany jako małe igłowe kryształki pozostające w ścisłym związku z kryształami gipsu w jaskini Kryształowej. Celestyn powstawał w warunkach kapilarnej warstewki równocześnie ze wzrostem kryształów gipsu kosztem strontu, obecność którego (3–5%) jest charakterystyczna dla badeńskich gipsów Przedkarpacia.

Węglany

W krasowych pustkach w gipsach Przedkarpacia w dużym stopniu są także rozwinięte speleotemy węglanowe, najczęściej utworzone z kalcytu o różnorodnej morfologii. Powstały one w wyniku infiltracji roztworu wodorowęglanu wapnia w pustki krasowe, tworzącego się przy rozpuszczaniu wapienia ratyńskiego, występującego nas gipsami, przez wody infiltracyjne. Przy spadaniu roztworu w pustkę zachodziła jego degazacja, która towarzyszyła wytrącaniu węglanu wapnia. W pojedynczych przypadkach źródłem materiału dla powstania kalcytu jest materiał węglanowy rozproszony w gipsie.

W strefach wycieku wód infiltracyjnych tworzą się stalaktyty o długości od kilku centymetrów do 1,5 m (ryc. 12), a pod nimi niekiedy tworzą się stalagmity o wys. do 30 cm. Niekiedy krople wody, padające ze stropu jaskiń, wybijają w utworach ilastych jamki o głębokości do 15 cm, na dnie i ściankach których odkłada się kalcyt w formie cienkiej powłoki. W rezultacie tworzą się cienkościenne twory stożkowate, znane jako konulity lub antystalagmity (Hill & Forti, 1986).

Przy wroście agregatów kalcytu przy dopływie roztworu przez kanał centralny, ale w warunkach przewagi sił kapilarnych i krystalizacyjnych tworzą się heliktyty o najprzeróżniejszej formie, przy czym spotyka się zarówno proste, jak i rozgałęzione odmiany (ryc. 13). Ich długość może dochodzić do 20 cm. W wielu miejscach obserwuje się znaczne nagromadzenie heliktytów.

W strefach intensywnej infiltracji wód tworzą się pokrywy naciekowe, kaskadowe nacieki, draperie i formy stalaktytopodobne. Miąższość pokrywy naciekowych zmienia się od kilku milimetrów do kilkudziesięciu centymetrów. Stalaktytopodobne formy tworzą się przy ściekaniu wód infiltracyjnych z załomów. Zewnętrznie przypominają one stożkowate stalaktyty, ale odróżniają się od nich brakiem centralnego kanału zasilającego i strukturą *cone-in-cone* w podłużnym przekroju (Rogozhnikov, 1984).

W celu określenia wieku powstania nacieków węglanowych pobrano próbki z jaskiń: Optymistyczna i Młynki. Badania wykonano metodą urano-torową na uniwersytecie w Bergen (Norwegia). Ustalono, iż wiek nacieków w jaskini Optymistyczna wynosi 99.630 ± 4400 lat, a pokrywa naciekowa o miąższości 6 cm z jaskini Młynki tworzyła się w okresie między 82.310 ± 2300 a 65.430 ± 1900 lat temu (Andreychuk i in., 1997). W Instytucie Geologii i Geochemii Narodowej Akademii Nauk we Lwowie wykonano badania tej samej pokrywy z jaskini Młynki i stwierdzono, iż $\delta^{13}\text{C}$ zmienia się od $-2,7\%$ w dolnej części do $+0,3\%$ w górnej części (Turchinov, 1993). Świadczy to o zmniejszeniu zawartości węgla o genezie organicznej (roślinnej) w wodach, przenoszących wodorowęglan wapnia, co można

interpretować jako wynik zmian klimatycznych na powierzchni w kierunku bardziej chłodnego i suchego klimatu w ciągu wyżej wspomnianego okresu czasu.

Oprócz utworów naciekowych napotyka się agregaty kalcytowe, rosnące w kapilarnej warstewce. Ich geneza jest dość złożona, gdyż są one wynikiem wzajemnego oddziaływania procesów parowania kapilarnej warstewki i degazacji roztworu wodorowęglanu wapnia. Do tej grupy należą niewielkie (do 2 cm) kryształy kalcytu o pokroju ostroromboidalnym, a także specyficzne utwory nazywane pseudoheliktytami, o długości kilku cm. Są one agregatami trzech kryształów kalcytu. Forma jest uwarunkowana szybkością wzrostu poszczególnych osobników.

Jak wspomniano wcześniej, w dużych kryształach wtórnego gipsu niekiedy obserwuje się wzrostki sferolitów kalcytu o średnicy od ułamka mm do 7 mm (ryc. 14). Ich wzrost zachodził jednocześnie ze wzrostem kryształów gipsu. Na określonym stadium wzrostu kryształu na jego powierzchni pojawiły się centra zarodkowania, z których zaczynały rosnąć promieniste agregaty kalcytu. Źródłem węglanu wapnia w danym wypadku mogła być substancja węglanowa, rozproszona w pierwotnym gipsie. Najwidoczniej wzrost sferolitów zachodził w warunkach podwyższonego parcjalnego ciśnienia CO_2 w atmosferze pustki krasowej, co utrudniało szybką degazację roztworu i przyczyniało się do spokojnego wzrostu sferolitów.



Ryc. 13. Kalcytowe sferolity (strzałki) wewnątrz kryształów gipsowych. Średnica sferolitów 5–6 μm , długość kryształów 10–15 cm. Jaskinia Dżurińska

Fig. 13. Calcite spherulites (arrows) inside the large gypsum crystals. Diameter of the spherulites is 5–6 μm , length of the gypsum crystals is 10–15 cm. Dhurin Cave

W wyniku krystalizacji węglanu wapnia w szczelinach i późniejszego rozpuszczenia gipsu tworzyły się formy znane pod nazwą *boxwork* (Hill & Forti, 1986).

Na powierzchni niektórych jaskiniowych zbiorników wody tworzyła się cienka (do 1,5 mm) kalcytowa warstewka, będąca agregatem mikroskopowych kryształków, rosnących prostopadle do powierzchni wody. Fragmenty warstewki utrzymują się na powierzchni wody siłą powierzchniowego napięcia. W miarę wzrostu warstewki następuje zwiększenie jej ciężaru i kiedy waga jej przewyższa siłę powierzchniowego napięcia wody, opada na dno. Na powierzchni wody zaczyna tworzyć się nowa warstewka i cały cykl powtarza się. W rezultacie na dnie zbiornika wodnego powstają swoiste utwory o miąższości do 25 cm, składające się z równoległe uwarstwionych płytek kalcytowych.

W niektórych niewielkich jaskiniach obserwuje się kalcytowe tamy o wysokości do 8 cm, powstające w poprzek podziemnego potoku w rezultacie osadzenia węglanu wapnia przy barierze mechaniczno-termodynamicznej (Dublanskiy & Lomayev, 1980).

W jednej z sal jaskini Jeziorna stwierdzono perły jaskiniowe — kalcytowe ooidy o średnicy do 16 mm (Apostoluk i in., 1972). Powstały one w naciekowych kuwetach w rezultacie koncentrycznego odkładania się kalcytu wokół jądra (np. ziarnka piasku) podczas jego obracania się, spowodowanego uderzeniami spadających kropli wody (Hill & Forti, 1986).



Ryc. 14. Utwory związków żelaza (czerwone) i manganu (czarne) w formie stalaktytopodobnej o wysokości 15 cm. Jaskinia Zołuszka

Fig. 14. Deposits of iron (red) and manganese (black) minerals. Stalactite-like (15 cm high) form of iron hydroxides. Zolushka Cave

Z innych minerałów węglanowych w jaskini Optymistyczna stwierdzono rodochrozyt (Turchinov, 1993). Jego powstanie można wiązać z rozpuszczaniem i redepozycją pierwotnego rodochrozytu, zawartego w utworach ilasto-marglistych górnego badenu, występujących nad gipsami. Wydaje się, że domieszka rodochrozytu nadaje charakterystyczną różową lub jasnopomarańczową barwę naciekom kalcytowym. Rodochrozyt w środowisku jaskiniowym jest nietrwały i utlenia się, w wyniku czego powstają tlenki i wodorotlenki manganu.

Krzemiany

W pustkach krasowych Przedkarpacia stwierdzono odmianę chalcedonu — lutecyt. Minerale ten występuje w strefach podwyższonej szczelinowatości, w formie cienkich skórek o barwie białej, żółtej, żółto-brązowej i grubości od ułamka milimetra do 3 mm. Powstanie tego minerału jest związane z epigenetycznym przemianami górnobadeńskich utworów tufogenicznych, występujących nad gipsami. Przy rozkładzie materiału wulkanogenicznego zachodziło powstawanie montmorillonitu i żelu krzemionkowego, który szczelinami przenikał w pustki krasowe w niżej leżących gipsach i tam rekrytalizował (Turchinov, 1993).

Tlenki i wodorotlenki

Minerały tej grupy to głównie związki żelaza i manganu. Są one szczególnie częste w jaskini Zołuszka, gdzie tworzą proszkowate utwory o miąższości do 40 cm, rozwinięte praktycznie na całym obszarze 90-kilometrowego labiryntu jaskini. Niekiedy obserwuje się formy stalaktyto- i stalagmitopodobne (ryc. 15) (Andreychuk & Volkov, 1988). Stwierdzono obecność następujących minerałów manganu: bernesyty i asbolanu-buzenitu, związki żelaza natomiast są obecne w amorficznej formie $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Żelazowo-manganowe utwory jaskini Zołuszka są wynikiem technogenicznej zmiany reżimu hydrochemicznego wód krasowych po sztucznym obniżeniu poziomu wodonośnego w celu eksploatacji gipsów. Spowodowało to ostre przejście warunków redukcyjnych w utleniające, co doprowadziło do osadzenia związków żelaza i manganu przy aktywnym udziale mikroorganizmów anaerobowych (Volkov, 1988).

Proszkowate utwory związków żelaza i manganu o miąższości do 15 cm stwierdzono także w niektórych innych jaskiniach (Klimchuk & Rogozhnikov, 1982; Turchinov, 1993) — związki te powstały w warunkach naturalnego obniżenia poziomu wód krasowych i naturalnej zmiany warunków redukujących na utleniające.

Do grupy minerałów tlenkowych jaskiń Przedkarpacia należy zaliczyć także lód, tworzący w chłodnych porach roku stalaktyty, stalagmity i kryształy w przywejsiowych częściach niektórych jaskiń. Niekiedy lodowe utwory mogą zachować się aż do środka lata (Andreychuk, 1988).

Wnioski

Powstawanie minerałów w pustkach krasowych w badeńskich gipsach Przedkarpacia to proces niskotemperaturowy. Subaeralne powstawanie agregatów wtórnego gipsu w pustkach krasowych jest przykładem powstawania gipsów w warunkach klimatu chłodnego (w temperaturze +9 do +10,5°C) i wilgotnego (wilgotność 96–99%).

Najintensywniejsze powstawanie wtórnych agregatów mineralnych zachodziło po przejściu pustki krasowej z eta-

pu subakwalnego jej rozwoju do subaeralnego. Źródłami materiału dla tworzenia wtórnych minerałów są same gipsy, jak i domieszki w nich zawarte. Oprócz tego znaczna część form mineralnych powstawała w rezultacie migracji i redepozycji w pustki krasowe komponentów z utworów przykrywających gipsy.

Głównie subaeralny charakter powstawania minerałów krasowych w regionie jest uwarunkowany rozwojem form mineralnych, czułych na zmiany parametrów atmosfery w pustce krasowej. Ich zawiązanie się i wzrost zależą od wahań temperatury i wilgotności, zawartości CO_2 , kierunki i szybkość potoków powietrza. Swoiste cechy środowiska jaskiniowego warunkowały pojawienie się niektórych niezwykłych procesów (np. aerozolowe powstawanie minerałów).

Związki żelaza i manganu w pustkach krasowych w gipsach regionu są wskaźnikiem przejścia ze stadium subakwalnego rozwoju pustki krasowej w subaeralne, a także zmiany warunków redukujących środowiska krasowego na utleniające.

Określenie wieku absolutnego nacieków węglanowych pozwoliło na ustanowienie górnej granicy najbardziej aktywnej (mezoplejstoceńskiej) fazy krasowienia gipsów Przedkarpacia.

Materiał przedstawiony w artykule został zebrany głównie w trakcie ekspedycji Lwowskiego Klubu Speleologów „Cyklon—Ojczyzna” przy aktywnym współdziałaniu speleologów z tego klubu, którym autor wyraża głęboką wdzięczność. Autor jest także szczerze wdzięczny prof. Tadeuszowi Perytowi (PIG) za możliwość zapoznania się z jaskiniami południowej Polski i za pomoc w przygotowaniu artykułu do druku.

Literatura

- ANDREYCHUK V.N. 1988 — Tektonicheskiy faktor v razvitii sulfatnogo karsta Bukoviny. Sverdlovsk, 50.
 ANDREYCHUK V.N. & VOLKOV S.N. 1988 — Zhelezo-margantsevy stalagmity v peshchere Zolushka. Peshchery, 21.
 ANDREYCHUK V.N., GŁAZEK J., HERCMAN H., LAURITZEN S.-E. & TURCHINOV I.I. 1997 — O vozraste natechnykh obrazovaniy peshcher — labirintov Zapadnoy Ukrainy. Svet, 1: 20.
 APOSTOLUK V.V., GORBENKO P.P. & ZIMMELS YU.L. 1972 — Novye dannye ob. Ozernoy peshchere Podolii. Peshchery, 12/13: 82–85.
 DUBLANSKIY V.N. & LOMAYEV A.A. 1980 — Karstovye peshchery Ukrainy. Kiev.
 HILL C.A. & FORTI P. 1986 — Cave minerals of the world. Huntsville.
 KLIMCHUK A.B., AKSEM S.D., SHESTOPALOV V.M. & RUD'KO G.I. 1988 — Rezhimnoye izuchenie aktivnosti gipsovogo karsta Zapadnoy Ukrainy. Kiev.
 KLIMCHUK A.B. & NASEDKIN V.M. 1992 — Radon v peshcherakh SNG. Svet, 4 (6): 21–35.
 KLIMCHUK A.B., NASEDKIN V.M. & CUNNINGHAM K. 1995 — Speleothems of aerosol origin. NSS Bull., 57: 31–42.
 KLIMCHUK A.B. & ROGOZHNIKOV V.Y. 1982 — Sopryazhennyy analiz istorii formirovaniya peshchernoj sistemy (na primere peshchery Atlantida). Kiev.
 LAZARENKO E.K. & SREBRODOLSKIY B.I. 1969 — Mineralogia Podillya. Lviv.
 ROGOZHNIKOV V.YA. 1984 — Vodnokhemogennyye otlozheniya v karstovykh peshcherakh — labirintakh Podolskogo Pridnestrovyia. Peshchery, 19: 46–55.
 TURCHINOV I.I. 1993 — Vtorichnye mineralnye obrazovaniya gipsovykh peshcher zapadnoy Ukrainy. Svet, 3: 29–37.
 TURCHINOV I.I. 1994 — Aerozolnye mineraloobrazovaniya v gipsovykh peshcherakh Zapadnoy Ukrainy. Voprosy fizicheskoy speleologii, 1: 51–63.
 TURCHINOV I.I. 1997 — Cave minerals of the Western Ukraine. Proc. 12th Intern Congr. Speleology: 239–242.
 VOLKOV S.N. 1988 — Geokhimicheskie osobennosti karstovykh obrazovaniy peshchery Zolushka (Srednee Pridnestrovyie). Lvov.
 VOLKOV S.N., SMIRNOV B.I. & YANCHUK Z.A. 1987 — Zhelezo-margantsevy obrazovaniya peshchery Zolushka. Doklady AN SSSR, 292: 451–454.