

УДК 711.168

АНАЛІЗ ПРИЧИН ПЕРЕЗВОЛОЖЕННЯ ТА СОЛЬОВОГО РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПАЛАЦУ БАНДІНЕЛЛІ У ЛЬВОВІ

Петро Волошин

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. М. Грушевського, 4, 79005, м. Львів, Україна*

Наведено результати комплексного вивчення геологічного середовища та стану конструктивних елементів пам'ятки. На будівельному камені заглиблених приміщень виявлено низку техногенних мінералів: тенардит, гіпс, левейт, вантгофіт, мірабіліт. Провідну роль серед них відіграє тенардит.

З'ясовано, що розвиток процесів мінералоутворення зумовлений сприятливими для техногенного нагромадження вод геологічними умовами, специфіка яких полягає в заляганні на глибині закладання фундаментів водотривких мергелистих глин, а також незадовільним функціонуванням систем водовідведення та водопостачання, що призводить до перезволоження ґрунтової товщі, прилеглої до фундаментів, та формування техногенного водоносного горизонту.

За сприятливих фізико-хімічних умов із вод, збагачених іонами натрію, кальцію і сульфатів, відбувається кристалізація низки натрієвмісних техногенних мінералів. На можливість їхньої кристалізації впливає не лише наявність водного розчину, збагаченого сульфатами натрію, а й температура і вологість повітря. Зміни мікрокліматичних умов у підвальних приміщеннях палацу тісно пов'язані з сезонними коливаннями кліматичних умов міста і мікроклімату приміщень. Протягом опалювального сезону температура повітря в приміщеннях доволі висока, а відносна вологість низька. Це сприяє кристалізації тенардиту. Натомість у весняно-літній та літньо-осінній періоди збільшується відносна вологість і знижується температура, за яких утворюється мірабіліт.

Активний розвиток процесів техногенного мінералоутворення призводить до руйнування будівельного каменю огорожувальних конструкцій палацу, що зумовлює потребу вжиття запобіжних заходів. Головними з них є влаштування вертикальної гідроізоляції або кільцевого дренажу.

Ключові слова: пам'ятка архітектури, техногенне підтоплення, техногенні мінерали, будівельний камінь.

Серед багатьох чинників, які забезпечують стійкість і функціональну придатність нерухомих пам'яток архітектури, є будова, склад і властивості геологічного середовища, яке утворює з ними єдину складну природно-технічну систему.

Зміни, що відбуваються в геологічному середовищі під впливом природних і техногенних чинників, неодмінно відображаються на їхній технічній складовій.

Проблеми ушкодження та руйнування пам'яток архітектури досліджені багатьма вітчизняними та зарубіжними фахівцями і висвітлені в численних публікаціях [1–4, 6, 7 та ін.].

Польові обстеження багатьох пам'яток архітектури в історичній частині Львова засвідчили значні за масштабами ушкодження їхніх підземних і надземних конструкцій. Провідну роль серед них відіграє перезволоження та сольове руйнування.

До пам'яток архітектури, уражених цими процесами, належить відомий у Львові, занесений до списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, палац Бандінееллі, розташований в історичному ареалі міста на пл. Ринок, 2. Будівля палацу тривалий час перебувала

в аварійному стані. Після проведення масштабних реставраційних робіт палац повністю відновлено. У його підвальних приміщеннях 2006 р. розміщено експозицію музею скла.

Суттєве погіршення екологічного стану приміщень музею, зумовлене перезволоженням стін та сольовим руйнуванням будівельних конструкцій, поставило на порядок денний питання щодо з'ясування причин розвитку цих небезпечних процесів.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

- вивчення просторових закономірностей розвитку руйнівних процесів;
- аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов району розташування палацу;
- визначення ступеня зволоженості ґрунтів, що прилягають до фундаментів;
- вивчення хімічного складу ґрунтових вод;
- визначення мінерального складу новоутворених солей;
- з'ясування причин розвитку процесів техногенного мінералоутворення.

У процесі досліджень виконано детальне обстеження підвальних приміщень палацу, що дало змогу отримати інформацію про просторові закономірності поширення перезволожених і засолених ділянок та його інтенсивність.

За результатами обстеження виявлено три основні ареали зволоження та засолення. Найбільші з них розташовані в крайній північно-західній та північно-східній частинах будівлі на стінах, що прилягають до вул. Ставропігійської. Тут зафіксовано масштабне руйнування тиньку, значні за площею висоли. Висоли – це скупчення борошноподібних, голчастих і волосяних кристалів техногенних мінералів, які утворюють на стінах агрегати (рис. 1). Розміри ушкоджених ділянок перевищують декілька квадратних метрів.



Рис. 1. Висоли на стінах палацу Бандініеллі
Fig. 1. Efflorescence on walls of Bandinelli Palace

Дещо менші за площею ділянки перезволоження виявлено з правого боку від входу до музею. Фрагментарно вони трапляються також на внутрішній (з боку будинку на пл. Ринок, 3) стіні. Тут перезволоження виявляється, головню, у вигляді відшарування тиньку, подекуди є незначні висоли. На підлозі слідів перезволоження нема.

За даними рентгеноструктурного аналізу новоутворені мінерали представлені, головню, сульфатами натрію і кальцію з різною кількістю молекул води (див. рис. 2). Провідну роль серед них відіграє безводний сульфат натрію – тенардит.

У технічному приямку, розташованому в північній частині підвалу виявлено воду. Товщина її шару на час обстеження становила 0,2 м. Повне її вичерпування та спостереження за відновленням рівня засвідчило, що вона потрапляє у приямок з боку

вул. Ставропільської по траншеї, у якій закладено каналізаційний колектор. Результати хімічного аналізу води наведено в таблиці.

Хімічний склад вод техногенного водоносного горизонту

Катіони	мг/дм ³	мг-екв/дм ³	Аніони	мг/дм ³	мг-екв/дм ³
Натрій і калій	158,36	5,48	Хлор-іон	85,09	2,40
Кальцій	52,10	2,60	Сульфат-іон	231,03	4,81
Магній	63,19	5,20	Гідрокарбонат-іон	366,10	6,00

Вода прозора, не має запаху, вміщує значну кількість натрію, калію, сульфатів та гідрокарбонатів, характерних для техногенних вод. Загальна мінералізація становить 955,9 мг/дм³. Концентрація водневих іонів (PH) – 7,8.

Шар води товщиною 10 см виявлено також у поглинальному колодязі, влаштованому на сходовій клітині при вході до музею. Це, по суті, атмосферна вода, яка потрапляє до колодязя з тротуару через зруйнований вапняковий поріг, влаштований при вході. Постійна її наявність у колодязі також сприяє проникненню вологи у підвальне приміщення палацу. Аналогічну роль, на наш погляд, відіграє і наповнений водою дощоприймальний колодязь, розташований на вул. Ставропільській біля північно-західного кута палацу.

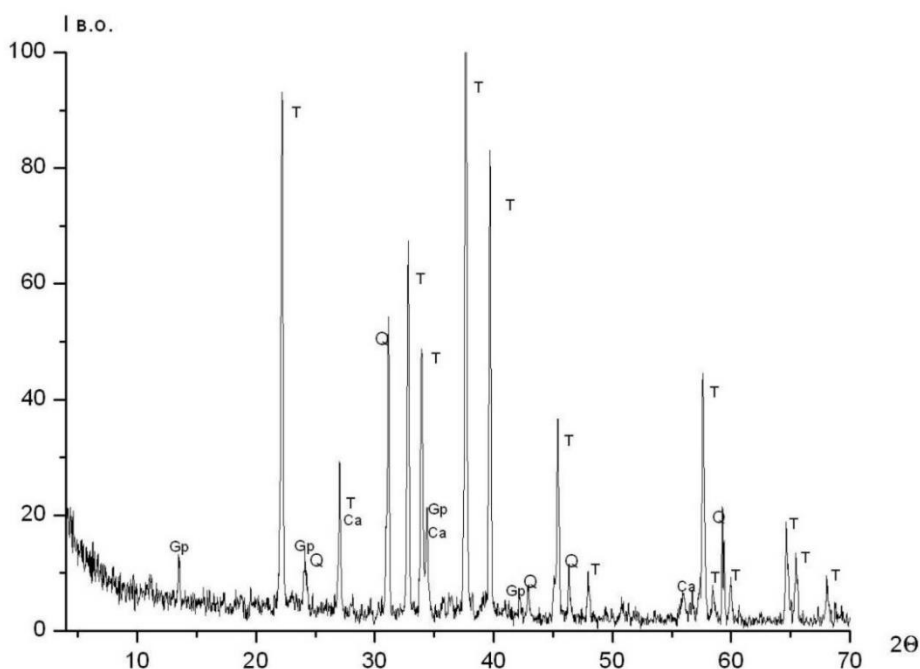


Рис. 2. Мінеральний склад висолів на поверхні фундаменту палацу Бандіnellі за даними рентгеноструктурного аналізу: *Q* – кварц (SiO_2), *T* – тенардит (Na_2SO_4), *Ca* – кальцит (CaCO_3), *Gp* – гіпс ($\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$)

Fig. 2. Mineral composition of efflorescence on the fundament surface of Bandinelli Palace by the X-ray structure analysis data

Для з'ясування можливості впливу на стан будівельних конструкцій палацу ґрунтових вод зібрано й опрацьовано дані з буріння свердловин, розташованих на пл. Ринок, 1, пл. Ринок, 26, 27, вул. І. Федорова (біля Домініканського собору), вул. І. Федорова, 25, вул. Друкарській, 9, у житловому кварталі, обмеженому вулицями Шевською, Театральною, Краківською, Каплиці Боїмів, а також матеріалів досліджень для реставрації палацу Бандініеллі.

Дані буріння свердловин на вул. Ставропігійській та прилеглих до неї ділянках засвідчили, що в геологічній будові досліджуваного району є досить потужний шар техногенних ґрунтів (3–4 м), які безпосередньо залягають на мергелях верхньої крейди. Техногенні ґрунти – це специфічний природно-антропогенний композит, надзвичайно строкатий за складом і будовою. У їхньому літологічному складі переважають суглинки і супіски. Вони вміщують велику кількість будівельного і побутового сміття та промислових відходів. За даними водних витяжок, техногенні ґрунти мають високий вміст калію, натрію, сульфатів та хлоридів [2].

Незважаючи на сприятливі геологічні умови, у жодній зі свердловин природні ґрунтові води не виявлені. Води крейдового водоносного горизонту залягають на глибині понад 10 м. У моніторинговій свердловині, розташованій на вул. І. Федорова (навпроти Домініканського собору), вони залягають на глибині 11,5 м.

Отже, однозначно можна стверджувати, що природні ґрунтові води на ділянці розташування палацу не можуть бути причиною перезволоження будівельних конструкцій.

Водночас у багатьох гірничих виробках досліджуваного району зафіксовано техногенний водоносний горизонт, який формується над мергелистими глинами. Його утворення зумовлене незадовільним функціонуванням систем водовідведення та водопостачання. Цей водоносний горизонт, зокрема, виявлено під фундаментами Ратуші, житлових будинків на пл. Ринок, 26 та 27, у моніторинговій свердловині поблизу Домініканського собору, в археологічному розкопі на вул. І. Федорова, 25. Він сформований над мергелистими глинами, які відіграють роль водотривкого шару. Водовмісними породами є ґрунти культурного шару, що залягають на мергелистих глинах. Потужність водоносного горизонту не перевищує, головню, 0,3–0,5 м.

У свердловинах, пробурених для розробки проекту реставрації палацу на вул. Ставропігійській та пл. Ринок до глибини 8 м, природний водоносний горизонт не виявлено. Натомість у двох шурфах із дев'яти пройдених виявлено техногенний водоносний горизонт потужністю 0,2–0,4 м. Два шурфи, що відкрили воду, розташовані біля стіни з боку вул. Ставропігійської, два – усередині будівлі поблизу каналізаційного колектора, що відводить атмосферні води від дощоприймального колодязя, розмішеного у дворі будинку № 3 на пл. Ринок. Таке спорадичне поширення вод, залягання їх у ґрунтах культурного шару однозначно свідчить про їхнє техногенне походження.

У місцях наявності цього водоносного горизонту техногенні ґрунти мають підвищену вологість.

Аналіз проб ґрунтів, відібраних зі свердловини, пробуреної біля стіни північно-західного кута палацу, також виявив їхню високу природну вологість, яка сягає 25 % і суттєво зростає з наближенням до покрівлі мергелистих глин.

Перевірка стану дощоприймальних колодязів, розташованих на вул. Ставропігійській засвідчила їхній незадовільний стан. Зокрема, колодязь на розі пл. Ринок і вул. Ставропігійської (біля північно-західного кута палацу) наповнений водою, тобто

він практично не функціонує, а вода з нього потрапляє у ґрунтовий масив. Аналогічний стан і колодязя, розташованого біля входу в аптеку (з протилежного боку вул. Ставропігійської).

Заглиблені приміщення аптеки також сильно перезволожені, простежується й активне сольове руйнування будівельного каменю. Це є ознакою наявності техногенного джерела надходження вологи з вул. Ставропігійської.

Проведені дослідження дають підставу стверджувати, що перезволоження й активне сольове руйнування заглиблених будівельних конструкцій палацу Бандініеллі спричинене комплексом чинників, зокрема:

– сприятливими для техногенного нагромадження вод геологічними умовами, специфіка яких полягає в заляганні на глибині закладання фундаментів мергелистих глин, які відіграють роль водотривкого шару;

– незадовільним функціонуванням систем водовідведення та водопостачання в районі розташування палацу, яке супроводжується витоками води з водоносних інженерних мереж, формуванням техногенного водоносного горизонту, насиченням вологою ґрунтової товщі, що прилягає до фундаментів.

Вода з поверхні водоносного горизонту та насичених вологою ґрунтів без горизонтальної і вертикальної гідроізоляції під впливом капілярних сил проникає в будівельні конструкції та перезволожує їх. За сприятливих фізико-хімічних умов із вод, збагачених іонами натрію, кальцію і сульфатів, утворюється низка техногенних мінералів: тенардиту, гіпсу, вантгофіту, левеїту та мірабіліту. Унаслідок виникнення кристалізаційного та гідратаційного тиску відбувається активне руйнування будівельного каменю. На можливість кристалізації тенардиту і мірабіліту впливає не лише наявність водного розчину, збагаченого сульфатами натрію, а й температура і вологість повітря [5]. За умов низької відносної вологості повітря і підвищеної температури кристалізується, головню, тенардит, і навпаки, висока вологість повітря і низька температура сприяють утворенню мірабіліту. Зміни мікрокліматичних умов у підвальних приміщеннях палацу тісно пов'язані з сезонними змінами кліматичних умов міста і мікроклімату приміщень. Протягом опалювального сезону температура повітря в приміщеннях доволі висока, а відносна вологість низька, що сприяє кристалізації тенардиту. Натомість у весняно-літній та літньо-осінній періоди збільшується відносна вологість і знижується температура, за яких утворюється мірабіліт.

Активний розвиток процесів техногенного мінералоутворення призводить до руйнування будівельного каменю огорожувальних конструкцій палацу, тому потрібне вжиття запобіжних заходів. Головними з них є влаштування вертикальної гідроізоляції або кільцевого дренажу. Крім того доцільно провести ревізію водоносних мереж та їхній ремонт. Необхідно також організувати моніторинг за розвитком процесів техногенного мінералоутворення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Волошин П.* Характеристика культурного шару історичної забудови Львова // Вісн. Чернів. ун-ту. Сер. геогр. 2003. Вип. 167. С. 29–37.
2. *Волошин П. К.* Підтоплення території м. Львова: причини, закономірності розвитку, екологічні наслідки // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. 2011. Вип. 39. С. 72–77.

3. Золкина М. А., Телков Ф. С. Причины формирования высолов на памятниках архитектуры и методы их ликвидации // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Материалы Второй общеросс. конф. изыскательских организаций 21–22 декабря 2006 г. М., 2007. Ч. 1. С. 211–218.
4. Карашкевич П. Будівельні солі: основні властивості // Будуємо інакше. № 5. 2000. С. 25–29.
5. Павлишин В. І., Дяків В. О., Цар Х. М., Кицмур І. І. Онтогенічні закономірності кристалізації мірамібліт-тенардитових агрегатів з ропи калійних родовищ Передкарпаття // Мінерал. журн. 2012. 34, № 2. С. 17–29.
6. Пашкин Е. М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры. М. : Высшая школа, 1998. 255 с.
7. Пашкин Е. М., Ануфриев А. А., Кувшинников В. М., Пономарев В. В., Телин О. В. Проблемы формирования высолов на памятниках архитектуры Москвы // Новые идеи в науках о Земле : тез. докл. IV Междунар. конф. М. : МГРИ, 1999. С. 101.

REFERENCES

1. Voloshyn, P. (2003). Kharakterystyka kulturnoho sharu istorychnoi zabudovy Lvova. *Visnyk of the Chernivtsi University. Series Geography*, 167, 29–37.
2. Voloshyn, P. (2011). The flooding of Lviv territory: reasons, patterns of development, ecological consequences. *Visnyk of the Lviv University. Series Geography*, 39, 72–77.
3. Zolkina, M. A., & Telkov, F. S. (2007). Prichiny formirovaniya vysolov na pamjatnikah arhitektury i metody ih likvidacii. Proceedings from *Perspektivy razvitija inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii (21–22 dekabnja 2006 g.)*, 1. Moscow, 211–218.
4. Karashkievich, P. (2000). Budivelni soli: osnovni vlastyvoosti. *Buduiemo inakshe*, 5, 25–29.
5. Pavlyshyn, V. I., Diakiv, V. O., Tsar, Kh. M., & Kytsmur, I. I. (2012). Ontohenichni zakonmirmnosti krystalizatsii miramibilit-tenardytovykh ahrehativ z ropy kaliinykh rodovyshch Peredkarpattia. *Mineralogical journal*, 34(2), 17–29.
6. Pashkin, E. M. (1998). *Inzhenerno-geologicheskaja diagnostika deformacij pamjatnikov arhitektury*. Moscow: Vysshaja shkola, 255 pp.
7. Pashkin, E. M., Anufriev, A. A., Kuvshinnikov, V. M., Ponomarev, V. V., & Telin, O. V. (1999). Problemy formirovaniya vysolov na pamjatnikah arhitektury Moskvy. Proceedings from *Novye idei v naukah o Zemle*. Moscow: MGRI, 101.

Стаття: надійшла до редакції 10.11.2016

доопрацьована 01.12.2016

прийнята до друку 15.12.2016

**THE ANALYSIS OF CAUSES OF WATERLOGGING AND SALT DESTRUCTION
OF BANDINELLI PALACE BUILDING CONSTRUCTIONS IN LVIV****Petro Voloshyn***Ivan Franko National University of Lviv,
M. Grushevskiy St., 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine*

In the article, the results of the complex study of geological environment and the status of the structural elements of monument are presented. A number of man-made minerals, in particular thenardite, gypsum, leveyit, vanthofit, mirabilite, is detected on the building stones of deepened rooms. Thenardite plays a leading role among them.

It was established that the development of minerals is driven by the geological conditions which are conducive to the technological accumulation of water. Their specificity lies in the depth occurrence of the foundations of waterproof marl clay and unsatisfactory functioning of drainage and water supply systems, that leads to waterlogging of soil thickness, adjacent to foundation, and formation of technogenic aquifer layer.

Under the favourable physical and chemical conditions a crystallization of sodium man-made minerals is taking place from the water enriched with ions of sodium, calcium and sulfate. Not only the presence of an aqueous solution of enriched sodium sulphate affects the possibility of their crystallization, but also temperature and humidity. Changes of micro-climatic conditions in basement of the palace are closely related to seasonal variations in town climate and microclimate of lodging. During heating season indoor air temperature is quite high and the relative humidity is low. It promotes thenardite crystallization. Instead, in spring-summer and summer-autumn period the relative humidity increases and the temperature decreases, when mirabilite is forming.

Active development of technological processes leads to the destruction of mineral building stone in Palace walling constructions that build the need to take actions. Placement of vertical waterproofing or drainage ring is above all.

Key words: architectural monument, technogenic flooding, technogenic minerals, building stone.