

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ КАПЛИЦІ БОЇМІВ У ЛЬВОВІ

Петро Волошин¹, Юрій Андрейчук², Валентина Марусяк¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, геологічний факультет, вул. Грушевського 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: petro.woloshyn@gmail.com

²Львівський національний університет імені Івана Франка, географічний факультет, вул. Петра Дорошенка, 41, Львів, Україна, 79000

e-mail: yuriy.andreychuk@lnu.edu.ua

У статті наведено результати комплексного вивчення геологічного середовища та стану конструктивних елементів пам'ятки архітектури національного значення. Установлено, що споруда каплиці розміщена на пологому схилі долини р. Полтва. Геологічний розріз у сфері її впливу складений потужною товщею неоднорідних, суфозійно нестійких техногенних ґрунтів потужністю до 4,2 м, підстеле-них середньозернистими і гравіюватими пісками, які залягають на потужній товщі верхньокрейдових мергелів та продуктів їх звітрювання. Підґрунтям підвалин слугують середньозернисті піски з високими показниками механічних властивостей. Ґрунтові води відсутні. На будівельному камені заглибле-них приміщень, складеному середньобуловими літотамнієвими вапняками, виявлено добре виражені мікрокристалічні висоли білого кольору. За даними рентгеноструктурного аналізу в їх складі виявлено незначну кількість гіпсу й тенардиту. Натомість хімічний аналіз водних і солянокислих витяжок з ґрун-тів, у яких містяться фундаменти, засвідчив практичну стерильність їх від легко- та середньорозчинних солей. Це вказує на те, що кристалізація техногенних мінералів не пов'язана зі складом геологічного середовища, а зумовлена, голов-но, надходженням сполук сірки із забрудненого атмосферного повітря.

Дослідження будівельного матеріалу, використаного для оздоблення фасадної стіни каплиці, та його мікроскопічне вивчення засвідчило, що це органогенно-детритовий моховатково-криноїд-ний вапняк. Він характеризується низькою щільністю, високою пористістю, здатністю вбирати знач-ну кількість вологи. Кам'яний декор стіни зазнав суттєвих ушкоджень. Вони виявляються у вигляді відлущування та розтріскування вапняку, а також повною втратою первинного зовнішнього вигля-ду. Провідними чинниками розвитку руйнівних процесів є фізичне й хімічне звітрювання вапня-ку, зумовлене кліматичними чинниками та високим рівнем транспортного забруднення атмосфери. Хімічний аналіз дощової води засвідчив її агресивність до карбонату кальцію, що зумовлює руйну-вання вапнякового каменю і виготовлених з нього художніх витворів.

Біля входу в каплицю зафіксовано активний розвиток механічної суфозії, виявлений в утворенні суфозійного провалу. Процес вимивання дрібнозему з ґрунтової товщі відбувався в порожнину, утворену підземним входом у крипту каплиці та влаштованим у фундаменті отвором. У них виявлено техногенний ґрунт з добре вираженою горизонтальною шаруватістю, яка вказує на досить високі градієнти напору інфільтраційних вод, які створюють загрозу суфозійного руйнування ґрунтів під підшовою підвалин.

Запобігання фізичному та хімічному звітрюванню вапняку наземної частини будівлі, а також розвитку суфозійних процесів потребує належного відведення атмосферних вод від конструктивних елементів каплиці та ділянки земної поверхні, що прилягає до неї. Для заміни зруйнованих фраг-ментів різби доцільно провести детальне петрографічне вивчення вапняків Полянського родовища.

Ключові слова: пам'ятка архітектури, фізико-механічні властивості ґрунтів, техногенне міне-ралоутворення, будівельний камінь, фізичне та хімічне звітрювання, механічна суфозія.

Постановка проблеми. Масштабний і довготривалий антропогенний тиск на всі складники природного середовища м. Львова загалом і центральної частини зокрема призвів до суттєвих змін їхньої структури і властивостей, розвитку небезпечних і несприятливих морфодинамічних процесів. Унаслідок цього мають місце деформації несучих конструкцій та руйнування будівельного каменю багатьох пам'яток архітектури. Прогресувальний розвиток руйнівних процесів створює реальну загрозу їх повної втрати. Тому вкрай важливим і актуальним завданням збереження пам'яток є встановлення причин їх руйнування і розробка на цій основі науково обгрунтованих методів реставрації і консервації.

До числа визначних і водночас проблемних пам'яток архітектури національного значення у Львові належить каплиця Боїмів. Це одна з найкращих пам'яток пізнього ренесансу, яка не має аналогів не лише в Україні, а й у європейській архітектурі (рис. 1) [3]. Зовнішньою окрасою каплиці є її головний західний фасад, найнасиченіший різьбою по каменю. Для її оздоблення використано світло-сірий органогенно-детритовий піскуватий вапняк Полянського родовища. Декоративні елементи пам'ятки, виконані з вапняку, зазнали суттєвого антропогенного ушкодження й потребують реалізації комплексу реставраційних заходів з їх відновлення.

Аналіз досліджень. Розгорнута архітектурна та художньо-естетична характеристика пам'ятки висвітлена в роботі Н. І. Майка [3]. Коротка характеристика вапняків Полянського родовища наведена в [5]. Інформація стосовно утворення техногенних мінералів та їх руйнівного впливу на будівельний камінь подана в статті [4]. Інженерно-геологічні умови, характер, причини та особливості техногенного мінералоутворення в будівельних конструкціях палацу Бандіnellі розглянуто в публікації [2].



Рис. 1. Загальний вигляд фасадної стіни каплиці Боїмів

Результати досліджень закономірностей поширення, літологічного й хімічного складу, фізико-механічних властивостей техногенних ґрунтів центральної частини м. Львова наведено в науковій праці [1].

Мета дослідження – вивчити склад і властивості геологічного середовища у сфері впливу каплиці Боїмів та оцінка стану будівельного каменю наземних і підземних її конструкцій.

Головні завдання досліджень:

- вивчити геологічну будову та гідрогеологічні умови ділянки;
- дослідити конструкцію підвалин та глибину їх закладання;
- визначити склад і фізико-механічні характеристики ґрунтів;
- виявити фізичні властивості будівельного каменю підвалин та наземних конструкцій;
- визначити хімічний склад та вологість ґрунтів з огляду на їх можливе сольове руйнування будівельного каменю;
- виявити причини та особливості розвитку механічної суфозії;
- здійснити мікроскопічне вивчення вапняків, використаних для оздоблення фасаду каплиці;
- вивчити мінералогічний склад новоутворених мінералів у будівельному камені підвалин;
- оцінити агресивність атмосферних вод до наземних будівельних матеріалів каплиці.

Для вирішення поставлених завдань та реалізації мети виконано комплекс досліджень, який містив:

- обстеження наземних і підземних конструкцій каплиці та прилеглих до неї ділянок;
- буріння свердловин та проходку шурфів;
- відбір проб ґрунтів та дослідження їх складу, стану й фізико-механічних властивостей;
- вивчення хімічного складу ґрунтів та вод атмосферних опадів для оцінки впливу на стан будівельного каменю;
- рентгеноструктурне й мікроскопічне вивчення будівельного каменю.

Виклад основного матеріалу. У геоморфологічному відношенні, майданчик, на якому розташована каплиця, розміщений на правому пологіму схилі Львівської улоговини. Її природний рельєф дуже антропогенно змінений, на що вказує потужна товща техногенних ґрунтів. Поверхня ділянки майже рівна з незначним нахилом у бік каналізованого русла р. Полтва.

У геологічній будові ділянки беруть участь сучасні, верхньочетвертинні і верхньокрейдові відклади (Рис. 2). Сучасні накопичення складені техногенними ґрунтами (культурним шаром), верхньочетвертинні – пачкою середньозернистих та гравіюватих пісків з прошарками лесовидних супісків, верхньокрейдові – мергелями.

Техногенні ґрунти характеризуються надзвичайно складною внутрішньою будовою. Їх літологічний склад змінюється від великоуламкових ґрунтів, складених битою цеглою та щебнем з брилами пісковику і літотамнієвого вапняку з піщаним наповнювачем до 30 %, залишків фундаментів, до пісків і супісків. Розріз складений великоуламковим ґрунтом характерний для північно-східного боку каплиці. З фасадного її боку та в крипті переважають супіски з домішками органічних решток і будівельних відходів від 10 до 20 %, місцями трапляються малопотужні 10–20 см прошарки майже на 100 %, складені битою цеглою (правдоподібно давнє мощення). У нижній частині шару фрагментарно трапляються супіски заторфовані (1а). Колір ґрунтів непостійний. Він змінюється від сірого, жовтувато-коричневого до

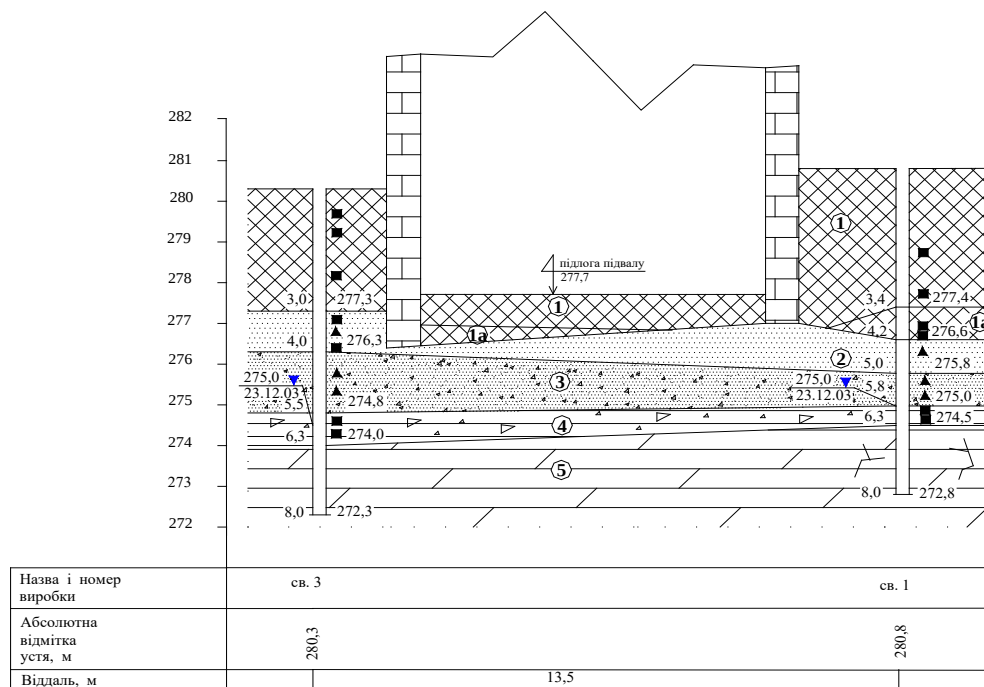


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз ділянки та положення підвалин каплиці Боїмів
a – техногенний ґрунт; 2 – пісок середньозернистий; 3 – пісок гравіюватий; 4 – мергелиста глина; 5 – скельний ґрунт-мергель

бурувато-сірого та чорного і значно залежить від літологічного складу ґрунтів культурного шару і вмісту органічних речовин. Їх потужність становить 3,5–4,2 м.

Четвертинні накопичення кладені переважно жовто-сірими середньозернистими й гравіюватими кварцовими пісками, середньої щільності, середнього ступеня насичення водою, озалізненими, з Fe-Mn бобовинами, поодинокими дрібними уламками літотамнієвого вапняку і пісковика. Місцями трапляються прошарки супісків пластичних піскуватих, щільних, оглеєних, озалізнених, грудкуватих сірувато- і жовтувато-коричневих.

Нижче залягає напівскельний ґрунт-мергель, щільний, низької міцності, тріщинуватий, сірий, перекритий зверху продуктами його звітрювання – напівтвердою, мергелистою, карбонатною глиною.

Підвалини каплиці стрічкові типу «стіна в ґрунті». Вони закладені на глибині понад 3,5 м від поверхні землі. Бутовий камінь підвалин складений середньожовтовими літотамнієвими вапняками з незначною домішкою піщаного матеріалу. Лабораторні дослідження вапняків показали, що породи мають низьку природну вологість, яка пересічно становить 5 %, щільність – 2,35 г/см³, пористість – 20 %.

Підґрунтям підвалин слугують середньозернисті піски, які за показниками фізико-механічних властивостей є надійним підґрунтям і не викликають сумнівів щодо забезпечення стійкості споруди. Результати вивчення фізико-механічних властивостей ґрунтів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості ґрунтів

Індекс генези і віку ґрунту	Номер шару	Значення показників										
		Природна вологість, д.о.	Число пластичності, д.о.	Показник текучості д.о.	Органіка, %	Щільність, $\gamma / \text{м}^3$	Коефіцієнт пористості	Ступінь вологості, д.о	Питома вага, $\text{кН} / \text{м}^3$	Модуль деформації, МПа	Кут внутрішнього тертя, градус	Питоме зчеплення, кПа
		W	I _p	I _L		r	e	S _r	U	E	j	C
t _{IV}	1	0,19	0,06	0,17		1,91	0,64	0,76	18,8	–	–	–
a–d III	2	0,11	–	–		1,91	0,56	0,53	18,8	34	36	1
a–d III	3	–	–	–	–	1,80	0,60	–	18,0	35	39	1
eK ₂	4	0,28	0,24	0,0		1,90	0,83	0,92	18,7	11	26	41
K ₂	5	–	–	–	–	2,17			21,7	R _{сн} – 2,5–МПа		

Підземні води на досліджуваному майданчику до глибини 8,0 м не виявлено. Лише у двох свердловинах над мергелистими глинами знайдено невелику кількість гравітаційної води (рис. 2), наявність якої зумовлена витоками з інженерних мереж.

Хімічний аналіз водних витяжок з ґрунту шарів 1 та 2 (табл. 2) показав, що за вмістом легкорозчинних солей вони майже стерильні. Тобто ґрунтова товща, як середовище підвалін каплиці, не може бути джерелом надходження їх у конструктивні елементи споруди.

Уміст середньорозчинних солей, зокрема гіпсу, також є мізерним (Табл. 3) і не може створювати помітного впливу на стан наземних конструкцій. Легкий гранулометричний склад ґрунтів (явне переважання пісків) створює несприятливі умови для капілярного переміщення навіть тієї невеликої кількості солей, що виявлені в ґрунтовій товщі.

Водночас візуальним обстеженням підвального приміщення каплиці, на поверхні бутової кладки східної та південної стін виявлено добре виражені мікрокристалічні висоли білого кольору. Рентгеноструктурний аналіз відібраної із цих накопичень проби показав, що вона містить незначну кількість гіпсу і тенардиту (рис. 3).

Зважаючи на те, що в ґрунтовому масиві гіпсу виявлено не було, його накопичення не пов'язано зі складом геологічного середовища, а має, на нашу думку, техногенне походження. Найбільша його кількість відзначається біля вентиляційних каналів, що може вказувати на надходження сполук сірки з атмосферної вологи й утворення мінералу в сприятливих для цього фізико-хімічних умовах підвального приміщення.

Переважаання у вапняках закритої пористості є несприятливим чинником для вертикальної міграції вологи в підвалинах під впливом капілярних сил.

Обстеження наземних декоративних елементів у каплиці засвідчили суттєві ушкодження будівельного каменю та руйнування кам'яного декору (рис. 4, 5). Вони виявляються у вигляді відлущування та розтріскування вапняку, а також повною втратою первинного зовнішнього вигляду. Наприклад, вирізані з вапняку голови левів повністю втратили свій первозданий вигляд (рис. 4, 5).

Таблиця 2

Вміст водорозчинних солей (на 100 г ґрунту)

№ виробки	Глибина відбору, м	HCO ₃ ⁻		CL		SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺ +K ⁺		NO ₃ ⁻	pH	Сума, %
		мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг-екв	%	мг		
Шурф 1	0,5	-	-	0,5	0,017	2,1	0,1	0,8	0,016	0,1	0,01	0,9	0,01	0,5	7,35	0,172
Шурф 2	0,3	1,6	0,097	0,7	0,024	2,0	0,10	0,6	0,012	-	-	0,4	0,0092	10	7,1	0,242
Св. 1	2,0–2,2	1,2	0,073	0,4	0,014	1,7	0,08	1,4	0,031	0,6	0,01	1,3	0,029	10	7,2	0,311
Св. 1	3,0–3,2	0,6	0,036	0,4	0,014	2,1	0,10	1,6	0,032	-	-	0,9	0,021	5		
Св. 2	1,0–1,2	1,2	0,073	0,7	0,024	0,7	0,03	1,9	0,038	-	-	0,7	0,016	15		
Св. 2	2,0–2,2	0,7	0,042	0,3	0,011	0,10	0,04	2,3	0,046	-	-	0,3	0,004	15		
Св. 3	1,0–1,2	1,2	0,073	0,5	0,017	2,1	0,10	0,8	0,016	-	-	3,0	0,069	2,5		
Св. 3	2,0–2,2	1,0	0,061	0,5	0,017	0,8	0,04	1,00	0,020	-		1,7	0,039	0,5		

Таблиця 3

Результати хімічного аналізу солянокислої витяжки

№ з/п	Номер виробки	Глибина відбору, м	Вміст середньорозчинних солей, %	
			SO ₄ ²⁻	CaSO ₄ * 2 H ₂ O
1	Ш-1	0,3	0,17	0,30
2	Ш-2	0,5	0,15	0,27
3	Св. 1	2,0-2,2	0,16	0,29
4	Св. 1	3,0-3,2	0,08	0,14
5	Св. 2	1,0-1,2	0,12	0,21
6	Св. 2	2,0-2,2	0,10	0,18
7	Св. 3	2,0-2,2	0,14	0,25

Мікроскопічне вивчення будівельного матеріалу, використаного для оздоблення фасадної стіни каплиці, засвідчило, що це органогенно-детритовий моховатково-криноїдний вапняк органогенно-детритової структури (рис. 6). Результати дослідження фізичних властивостей вапняку наведено в табл. 4.

Основа породи представлена скелетними фрагментами моховаток і криноїдей, що заміщуються пелітоморфним (темне) та тонкокристалічним кальцитом. У складі моховатково-криноїдної основи трапляються поодинокі скелетні форми форамініфер, уламки раковин та трубок червів, які також повністю заміщені кальцитом. Постійним ксеногенним складником карбонатної органогенно-детритової основи є частинки кварцу алевро-псамітової розмірності (біло-жовтий колір. Чорні ділянки ізометричної та іншої різноманітної

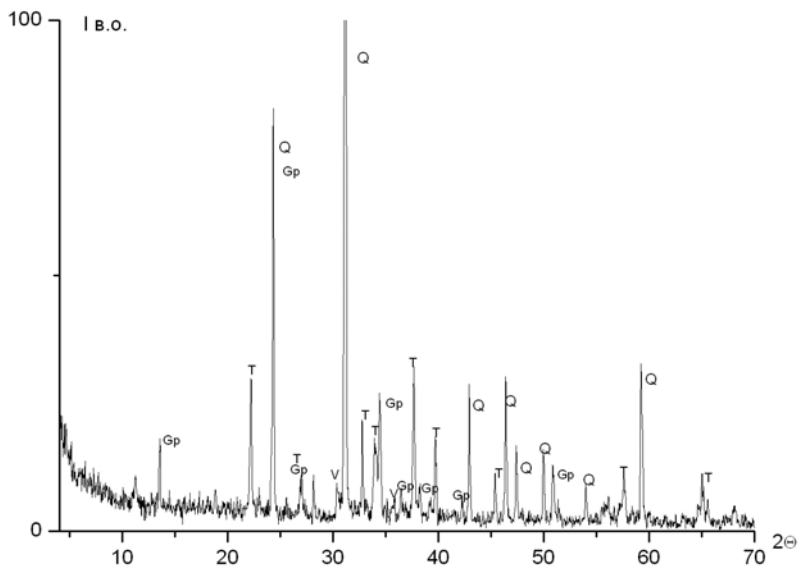


Рис. 3. Руйнування будівельного каменю завдяки кристалізації незначної кількості гіпсу й мірабіліту маловірогідна



Рис. 4. Ушкодження будівельного каменю фасадної стіни каплиці



Рис. 5. Фрагменти різного виду ушкоджень будівельного каменю

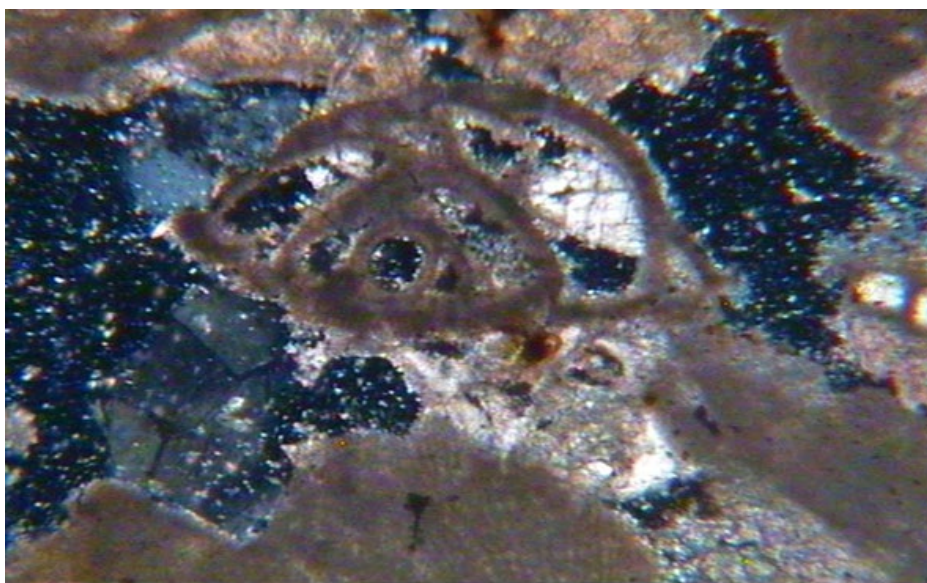


Рис. 6. Органогенно-детритовий моховатково-криноїдний вапняк
органогенно-детритової структури

форми – пори у породі. Розмір зерен кварцу – 0,1–0,6 мм. Ніколі +. Результати дослідження фізичних властивостей вапняку наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Результати дослідження фізичних властивостей вапняку

№ з/п	Щільність грунту, г/см ³	Пористість, %	Водонасичення вагове, %	Об'єм закритих пор, %	Коефіцієнт водонасичення
1	1,65	39	29	10	0,83
2	1,72	37	23	14	0,83
3	1,74	36	23	13	0,83

Як видно з таблиці, органогенні вапняки характеризуються низькою щільністю, високою пористістю, здатністю вбирати значну кількість вологи. Наведені вище результати дослідження ґрунтів підґрунтя підвалин та матеріалу стін підвального приміщення каплиці дають підставу стверджувати, що інтенсивне руйнування декоративних елементів на вапняковому камені головного фасаду не пов'язане з «підсмоктуванням» насичених солями водних розчинів, які формуються в ґрунтовому масиві.

Провідними чинниками розвитку руйнівних процесів, на нашу думку, є фізичне та хімічне звітрювання вапняку, зумовлене кліматичними чинниками та високим рівнем транспортного забруднення атмосфери і відповідним хімічним складом атмосферних опадів. Їхній активізації також сприяють конструктивні особливості західної стіни каплиці та відсутність системи водовідведення.

Виконані спостереження показали, що на декількох ярусах карнизів головного фасаду споруди взимку накопичується значна кількість снігу. Утворена при його таненні вода проникає в тіло вапняку в місці безпосереднього контакту снігу з конструкціями, зволожує його, сприяючи цим морозному звітрюванню. Частина води, що стікає з верхнього карнизу, частково потрапляє на нижчий карниз, цоколь та відмостку. Струмені стікаючої води, відбиваючись від карнизів і відмостки, розбризкуються та зволожують нижні, прилеглі до них частини стін. На це вказує також найвищий ступінь руйнування будівельного каменю на ділянках, що містяться над відмосткою і карнизами.

Хімічний аналіз дощової води (Табл. 5) вказав на її низьку загальну мінералізацію (120,51 мг/дм³), слабкокислу реакцію водного середовища і підвищений вміст агресивної вуглекислоти. Вона характеризується загальнокислотою, бікарбонатною агресивністю та агресивністю за вмістом вуглекислоти, що зумовлює руйнування вапнякового каменю і виготовлених з нього художніх витворів.

Таблиця 5

Хімічний склад дощової води

Катіони	Мг/дм ³	Мг-екв/дм ³	Аніони	Мг/дм ³	Мг-екв/дм ³
Натрій+калій	2,30	0,10	Хлор-іон	0,56	0,10
Кальцій	6,12	0,30	Сульфат-іон	7,20	1,50
Магній	18,24	1,50	Гідрокарбонат-іон	18,30	0,30

Загальна мінералізація, мг/дм³ 120,51

Загальна жорсткість, мг-екв/дм³ 1,80

Агресивна кислота, мг/дм³ 13,20

pH 6,0

Агресивність води до вапняку

Бікарбонатна лужність	слабкоагресивна	Вміст агресивної вуглекислоти	слабкоагресивна
Водневий показник	слабкоагресивна	Вміст сульфатів (SO_4^{2-})	неагресивна

При обстеженні майданчика, прилеглого до фасадної стіни каплиці з використанням біолокації, біля її входу було виявлено підземний хід. Після сильного дощу в цьому місці утворився суфозійний провал розміром понад 1,0 м у плані й такої ж глибини. Відкриття шурфом ґрунтів на місці суфозійного провалу показало, що процес вимивання дрібнозему з ґрунтової товщі відбувався в порожнину, утворену підземним входом у крипту каплиці. При цьому в отворі входу виявлено техногенний ґрунт, який прилягає до фундаменту каплиці. У цьому ґрунті зафіксовано добре виражену горизонтальну шаруватість, яка вказує на досить швидке переміщення води у вигляді турбулентного потоку. Вивчення ґрунту, який прилягає до фундаменту, засвідчило, що процесами суфозії охоплено ґрунтовий масив товщиною понад 1 м. Очевидних слідів суфозійного вимивання ґрунтів на рівні підшови фундаментів не встановлено.

На віддалі 70 см від підземного входу в крипту виявлено наскрізний отвір у фундаменті. Він має розміри 50 (ширина) на 80 см (висота), який також був наповнений техногенним ґрунтом, його присутність вказує на те, що в місці його локації відбуваються процеси механічної суфозії. Близькість цього отвору до підшови фундаменту, при значному гідравлічному напорі інфільтраційних вод, створює загрозу суфозійного руйнування ґрунтів і під його підшовою, що могло бути причиною утворення тріщини у фасадній стіні каплиці, з розкриттям до 5 мм.

Розвиток процесів механічної суфозії зумовлений потраплянням атмосферних вод у прифундаментну частину ґрунтового масиву у зв'язку з відсутністю ринв на даху каплиці, відмостки біля її стін, накопиченням їх біля входу в будівлю через незадовільно організований поверхневий стік, а також наявністю в товщі техногенних ґрунтів і штучних порожнин (підземного ходу) та наскрізного отвору у фундаменті, які є місцями винесення дрібнозему інфільтраційними водами.

До чинників, що сприяють розвитку суфозійних процесів, слід також зарахувати декілька ярусів поховань (окремі з них були виявлені безпосередньо біля фундаментів, майже на глибині їх закладання), які через недоуцільненість ґрунту в місцях їх локації зумовлюють прискорений рух інфільтраційних вод.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Каплиця Боїмів – це пам'ятка архітектури національного значення, фасадна стіна якої має незадовільний стан і потребує реставрації та реновації.

2. Підґрунтям підвалин будівлі слугують середньозернисті та гравіюваті піски, які характеризуються високими показниками механічних властивостей, достатніх для сприйняття навантаження від споруди.

3. Ґрунтове середовище, у яке занурені підвалини, складене вкрай неоднорідними, з підвищеною вологістю, суфозійно нестійкими техногенними ґрунтами.

4. Техногенні ґрунти майже не вміщують легко- та середньорозчинних солей і не є джерелом кристалізації техногенних мінералів на будівельному камені підвалин. Виявлена незначна кількість гіпсу та тенардиту не створює загрози їх руйнування.

5. Фасадна стіна каплиці облицьована органічно-детритовим вапняком опільської світи раннього баденію. Вапняк характеризується низькою щільністю ($1,70 \text{ г/см}^3$), високою пористістю (37 %), здатністю вбирати велику кількість вологи.

6. У багатьох місцях фасаду каплиці виявлено суттєві ушкодження будівельного каменю та руйнування кам'яного декору. Провідними чинниками розвитку руйнівних

процесів є фізичне та хімічне звітрювання вапняку, зумовлене кліматичними чинниками та високим рівнем транспортного забруднення атмосфери й відповідним хімічним складом атмосферних опадів. Хімічний аналіз дощових вод засвідчив підвищену агресивність (розчинну здатність) до вапняків.

7. Розвиток процесів механічної суфозії зумовлений потраплянням атмосферних вод у прифундаментну частину ґрунтового масиву у зв'язку з відсутністю ринв на даху каплиці, відмовки біля її стін, накопиченням їх біля входу в будівлю через незадовільно організований поверхневий стік. Провідним чинником є наявність у розрізі суфозійно нестійких техногенних ґрунтів і порожнин (підземного ходу) та наскрізного отвору у фундаменті, які є місцями винесення дрібнозему інфільтраційними водами.

8. Втрата багатьох елементів кам'яного декору каплиці вимагає виконання реставраційно-відновлювальних робіт, реалізація яких потребує додаткового петрографічного вивчення вапняків Полянського родовища для з'ясування можливого використання для заміни ушкоджених.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волошин П. Характеристика культурного шару історичної забудови Львова. *Вісник Чернівецького університету. Серія географічна*. 2003. Вип. 167. С. 29–37.
2. Волошин П. К. Аналіз причин перезволоження та сольового руйнування будівельних конструкцій палацу Бандініеллі у Львові. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2016. Вип. 50. С. 84–90.
3. Маїк Н. І. Каплиця Боїмів. Енциклопедія сучасної України / редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.]; НАН України, НТШ. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2012. URL: <https://esu.com.ua/article-9457>.
4. Карашкевіч П. Будівельні солі: основні властивості. *Будуємо інакше*. 2000. № 5. С. 25–29.
5. Спецдозвіл на користування надрами № 6127 Полянського родовища вапняків в с. Поляна Львівської області Миколаївського району. Державна служба геології та надр України. Київ, 2016.

REFERENCES

1. Voloshyn, P. (2003). Kharakterystyka kulturnoho sharu istorychnoi zabudovy Lvova [Characteristics of the cultural layer of historical development of Lviv]. *Visnyk Chernivetskoho universytetu. Seriiia heohrafichna*, (167), 29–37.
2. 2.Voloshyn, P.K. (2016). Analiz prychyn perezvolozhennia ta solovoho ruinuвання budivelnnykh konstrukttsii palatsu Bandinelli u Lvovi [Analysis of the causes of overmoistening and salt destruction of the building structures of the Bandinelli Palace in Lviv]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heohrafichna*, (50), 84–90.
3. 3.Maik, N.I. (2012). Kaplytsia Boimiv [The Boim Chapel]. In I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskiy, & M. H. Zhelezniak (Eds.), *Entsyklopediia suchasnoi Ukrainy* [Encyclopedia of Modern Ukraine]. Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy. Retrieved from: <https://esu.com.ua/article-9457>
4. Karashkevich, P. (2000). Budivelni soli: osnovni vlastyvoli [Building salts: Main properties]. *Buduemo inakshe*, (5), 25–29.
5. Derzhavna sluzhba heolohii ta nadr Ukrainy. (2016). Spetsdozvil na korystuvannya nadramy № 6127 Polianskoho rodovyshecha vapniakiv v s. Poliana Lvivskoi oblasti Mykolaivskoho raionu [Special permit for the use of subsoil No. 6127 of the Polyana limestone deposit in Polyana village, Lviv region, Mykolaiv district]. Kyiv.

ENGINEERING AND GEOLOGICAL PROBLEMS OF PRESERVATION OF THE BOIM IN LVIV CHAPEL

Petro Voloshyn¹, Yuriy Andreychuk², Valentyna Marusiak¹

¹Ivan Franko National University of Lviv, Faculty of Geology, Hrushevskoho Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

e-mail: petro.voloshyn@gmail.com

²Ivan Franko National University of Lviv, Faculty of Geography, Petro Doroshenko Str., 41, Lviv, Ukraine, 79000

e-mail: yuriy.andreychuk@lnu.edu.ua

The article presents the results of a comprehensive study of the geological environment and the state of structural elements of the architectural monument of national importance. It has been established that the chapel building is located on the gentle slope of the valley of the Poltva River. The geological section in the sphere of its influence is composed of a thick layer of heterogeneous, unstable artificial soils with a thickness of up to 4.2 m, covered with medium-grained and gravel sands, which lie on a thick layer of Upper Cretaceous marls and products of their weathering. The basis of the foundations is medium-grained sands with high mechanical properties. There is no groundwater. On the building stone of the buried premises, composed of Middle Bulk lithotamnium limestones, well-expressed microcrystalline efflorescences of white colour were found. According to X-ray diffraction analysis, a small amount of gypsum and tenardite was found in their composition. On the other hand, chemical analysis of aqueous and hydrochloric acid extracts from soils where the foundations are located showed their practical sterility from lightly and moderately soluble salts. This indicates that the crystallisation of artificial minerals is not related to the composition of the geological environment but is mainly due to the intake of sulphur compounds from polluted atmospheric air.

The study of the building material used for the decoration of the façade wall of the chapel and its microscopic examination showed that it is an organogenic-detritus moss-crinoid limestone. It is characterised by low density, high porosity, and the ability to absorb significant moisture. The leading factors in the development of destructive processes are the physical and chemical weathering of limestone, which is caused by climatic factors and a high level of transport pollution of the atmosphere. Chemical analysis of rainwater has shown its aggressiveness to calcium carbonate, which causes the destruction of limestone and works of art made from it.

At the entrance to the chapel, an active development of mechanical suffosis, found in the formation of a suffosis failure, was recorded. The process of leaching fine soil from the soil layer took place in the cavity formed by the underground entrance to the crypt of the chapel and the hole arranged in the foundation. They found artificial soil with well-defined horizontal layering, which indicates sufficiently high gradients of infiltration water pressure, which pose a threat of suffocation and destruction of soils under the sole of the foundations.

Prevention of physical and chemical weathering of limestone of the ground part of the building and the development of suffosis processes requires proper drainage of atmospheric waters from the structural elements of the chapel and the area of the earth's surface adjacent to it. To replace the destroyed fragments of the thread, conducting a detailed petrographic study of the limestones of the Polyana deposit is advisable.

Key words: architectural monument, physical and mechanical properties of soils, artificial mineral formation, building stone, physical and chemical weathering, mechanical suffosis.

Дата надходження статті: 27.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025