

Е. Кузьменко¹, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com;В. Максимчук², д-р фіз.-мат. наук, проф.,E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;І. Чепурний¹, канд. геол. наук, доц.,E-mail: igor.chepurnyi@gmail.com;С. Багрий¹, канд. геол. наук, доц.,E-mail: gbg2020@ukr.net;О. Романюк², канд. геол. наук,E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;Р. Кудеравець², канд. геол. наук,E-mail: romankuderaevets@gmail.com;¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна;

²Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,

вул. Наукова, 3-Б, м. Львів, 79060, Україна

ДОМІНІКАНСЬКИЙ КОСТЕЛ У ЧОРТКОВІ: ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ, ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ КРИПТИ, СТАБІЛІЗАЦІЯ БУДІВЛІ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О.І. Меньшовим)

Присвячено висвітленню результатів геолого-геофізичних досліджень, які проведено на території Домініканського костелу у м. Чортків Тернопільської області з метою визначення напружено-деформованого стану елементів будівлі та пошуку зон пустот і розуцільнення у приповерхневому шарі ґрунту.

Методи досліджень – методи природного імпульсного електромагнітного поля Землі, вертикального електричного зондування, природних електричних потенціалів, радіохвильового акустичного профілювання, георадарного зондування.

Визначено та проаналізовано причини розвитку небезпечних процесів, які негативно впливають на стан будівлі костелу. Встановлено, що причинами зазначених деформацій є геологічна будова порід, на яких побудований костел, нахил рельєфу, природне зволоження ґрунту, інтенсивний рух транспорту та створення додаткових джерел інфільтрації води.

Ключові слова: інженерно-геологічні умови, напружено-деформований стан, геофізичні дослідження, деформації, археологія.

Вступ. Домініканський костел Матері Божої св. Розарія та св. Станіслава у м. Чортків Тернопільської області було відкрито для богослужіння в 1610 р. Костел зазнав значної перебудови на початку ХХ ст. у зв'язку зі збільшенням кількості парафіян і, відповідно, з потребою збільшення храмового простору. Нинішнього вигляду костел набув у 1910 р. (архітектор Ян Сас Зубрицький) – рис. 1. До костелу примикали монастирські приміщення.

Передумовою виконання наукових геолого-геофізичних досліджень на території костелу та прилеглих ділянок є деформації окремих елементів будівлі костелу.

Особливості проведення геолого-геофізичних досліджень та їх інтерпретації є той фактор, що для визначення причин розвитку деформаційних процесів будівлі костелу слід враховувати археологічні фактори: численні перебудови костелу, зміни в забудові прилеглих територій, наявність підземної крипти під будівлею костелу, розташування якої на час проведення досліджень не було відомим. Крім того, крипта могла спричиняти додатковий вплив на розвиток деформаційних процесів. Тому супутнім завданням було знаходження крипти та підземних ходів, визначення їх стану, в тому числі обводнення та, відповідно, впливу на розвиток деформацій будівлі костелу. Для цього було застосовано комплекс геофізичних електричних та сейсмоакустичних методів та проведено інтерпретацію їх результатів з урахуванням історії перебудов будівлі костелу та розвитку в часі інженерно-геологічної та гідрогеологічної ситуації.

Мета досліджень. Метою геолого-геофізичних та археологічних досліджень, що проводились у будівлі костелу та на прилеглий території в останні роки, є визначення та аналіз причин розвитку небезпечних процесів, які негативно впливають на стан будівлі костелу. Деформація будівлі наочно відображається у появі та поширенні тріщин у підлозі та на стінах, а також у підтопленні підлоги в період інтенсивних опадів.

Деформаційні процеси можуть бути пов'язані з інженерно-геологічними, гідрогеологічними та техногенними чинниками. Тому під час планування науково-дослідних робіт і для їх виконання були сформовані або уточнені такі геологічні та архітектурні завдання:

- створення цифрового формату моделі сучасного костелу, суміщеного з давнім костелом 1610 р.;
- уточнення геологічної будови масиву гірських порід у районі костелу та на прилеглих ділянках;
- визначення ступеня обводнення гірських порід;
- уточнення місцезнаходження крипти;
- визначення ступеня напруженого стану гірських порід та елементів будівлі костелу;
- визначення наявності екзогенних геологічних процесів;
- окреслення факторів, що є причинами деформації будівлі костелу.

Аналіз досвіду вирішення археологічних задач геофізичними методами. Останніми роками геофізичні методи традиційно використовують під час археологічних досліджень. Свідченням цього є значна кількість наукових праць із цієї тематики. Першими з цього напрямку у світі є дослідження шляхом вимірювань питомого електричного опору на археологічній пам'ятці у 1946 р. (Atkinson, 1953). У подальшому інші геофізичні методи впроваджувались для супроводу археологічних досліджень, зокрема, магнітні (Belshé, 1957; Загній та ін., 1971; Бондар та ін., 2019), георадарні (Annan, 2003; Бондар та ін., 2020), електрометричні (Panissod, 1997; Papadopoulos, 2009). Європейська археологічна комісія створила методичні рекомендації з геофізичних досліджень при археологічній експертизі (Schmidt et al., 2015), які покликані допомогти досягти стандартизації методів прикладної геофізики в археології. Ці рекомендації лягли в основу національних стандартів європейських країн. Серед українських науковців, які

працюють у сфері застосування геофізичних методів в археології, варто відмітити праці В.П. Дудкіна та І.Н. Кошелева (*Дудкін та Кошелев, 1999*), Г.Ф. Загнія (*Загній, 1979*), М.І. Орлюка (*Орлюк та ін, 2016*), А.В. Сухоради, К.М. Бондар (*Jeleńska et al., 2008*). Геофізичні методи в завданнях археології дозволяють дослідити особливості

поширеності археологічного матеріалу в приповерхневій частині геологічного розрізу. Інтерпретовані геофізичні матеріали сукупно з даними аерофотозйомок, супутникових знімків, дистанційного зондування Землі є науковим підґрунтям для систематизації та обліку об'єктів культурної спадщини.



Рис. 1. Костел Матері Божої св. Розарія і св. Станіслава (Домініканський костел) у м. Чортків

Методика досліджень. Методична послідовність наукових робіт полягає в реалізації таких етапів досліджень:

- опрацювання архівних і літературних даних щодо історії створення костелу та його архітектури;
- опрацювання наявних геологічних та інженерно-геологічних матеріалів;
- проведення геофізичних досліджень та інтерпретація отриманих результатів;
- комплексний аналіз геологічної інформації в узгодженні з отриманими геофізичними даними;
- встановлення причин деформації будівлі костелу та розробка рекомендацій щодо стабілізації споруди.

Для створення моделі суміщення сучасного та давнього костелу використано такі документи: фрагмент військово-топографічних мап Галичини кінця XVIII ст. (1779–1783 рр.) із зображенням костелу, фрагмент кадастрової карти центральної частини м. Чортків 1859 р., проект розбудови костелу 1884, 1904, 1907 рр., давні фото костелу, креслення костелу та монастиря на планах міста Чортків 1939 р. та радянського періоду, креслення костелу та прилеглих території на сучасній мапі (*Ostrowski, 2009*).

Для геологічних побудов використано матеріали регіональних геологічних зйомок та детальних інженерно-геологічних вишукувань, зокрема наявні геологічні карти та розрізи, а також інженерно-геологічні колонки по свердловинах і шурфах, які пройдено на території, що прилягає до костелу (*Григель та ін., 2020*). На основі первинних

геологічних даних побудовано горизонтальні та вертикальні розрізи, узгоджені в плані з будівлею костелу.

Геофізичні дослідження виконано із залученням методів природного електричного поля (ПЕП), вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ), природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ), резонансно-акустичного профілювання (РАП) та георадарної зйомки (ГРЗ).

Методи ВЕЗ і ПЕП виконано за межами будівлі, по окремих профілях, а методи ПІЕМПЗ, РАП та ГРЗ – у межах будівлі в площинному варіанті, а також у профільному поза будівлею.

Для методу ПІЕМПЗ спостереження виконано на двох діапазонах частот: 2–16 кГц ("низький" діапазон) і 36–50 кГц ("високий" діапазон). Виміри здійснювались при трьох взаємоперпендикулярних напрямках антен X, Y, Z, оскільки геологічне середовище є неоднорідним і анізотропним. Задіяний діапазон частот надає можливість отримання інформації в інтервалі глибин від перших метрів до 17 м, при цьому розрахунковий інтервал глибин для високих частот передбачався в межах 3–4 м, тобто в інтервалі можливого розущільнення. Обробку даних виконано за методикою, запропонованою в (*Kuzmenko et al., 2017, 2018, 2020*).

Методика спостережень методом РАП полягала у вимірах акустичного сигналу в точках спостережень датчика (акусто-електричного перетворювача) за профілем (*Zuikov et al., 2011*). Георадіолокаційні дослідження

проводились за допомогою георадара ОКО-2. Ефективність підбору розгортки спостережень і визначення ефективної діелектричної проникності полягала в правильному поєднанні з результатами інженерно-геологічних вишукувань, унаслідок чого вдалось отримати достатньо чітку картину хвильового відбиття на глибину до 6 м.

Результати робіт.

Уточнення геологічної будови. У геоморфологічному відношенні територія досліджень належить до Південно-Західної частини Волино-Подільської височини. Тектонічну будову території визначає південно-західна окраїна Східноєвропейської платформи.

У стратиграфічному відношенні територія сформована породами силурійської, девонської та неогенової систем. Корінні породи перекриті алювіально-делювіальними четвертинними відкладами. Геологічний розріз, який дає уявлення про геологічні процеси в регіональному плані та про розташування гірських порід різного віку, представлено на рис. 2. З розрізу видно, що четвертинні утворення на похилій терасі річки Серет, де розташований костел, безпосередньо залягають на давніх девонських відкладах, вік яких оцінюється в 405–420 млн років. Дещо вище по схилу розташовані породи опільської світи неогену.

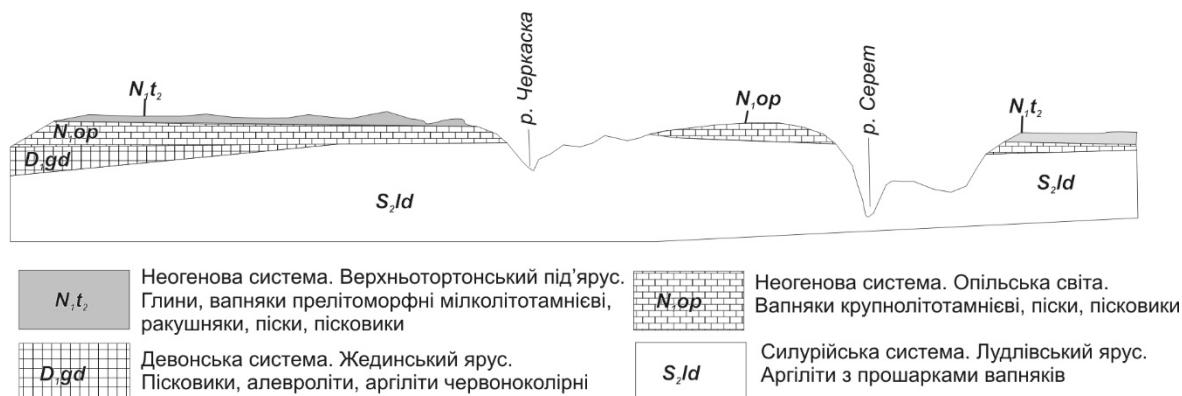


Рис. 2. Регіональний геологічний розріз

У результаті детальних геологічних досліджень верхня частина розрізу деталізована з виділенням інженерно-геологічних елементів. На рис. 3 зображено схематичний розріз по осьовій лінії костелу. З розрізу видно, що рельєф є похилим по осьовій лінії з перепадом висот приблизно у 2 м. Відповідно похилою є покрівля супіщано-суглинистих порід. Фундамент костелу заглиблений у ці породи, тобто розташований у супісках. Підлога костелу горизонтальна, тому вона з південно-західної сторони (зверху) "врізана" у знятий ґрунт, а з північно-східної сторони "знизу" – на підсипаній основі.

Ступінь обводнення гірських порід визначається літологічною будовою з відповідною наявністю водопроникних і непроникних порід і границь між ними, а також нахилом стоку. Гідрогеологічний розріз у верхній частині

складають два основних водоносних комплекси. Перший водоносний горизонт включає приповерхневі породи, насипний ґрунт, а також водопроникні супіски неогену. Для цього комплексу характерний єдиний рівень підземних вод РПВ I.

Підземні води першого водоносного комплексу (делювій та неогенові супіски) пов'язані з інфільтрацією поверхневих вод, що формуються за рахунок опадів, а також, можливо, за рахунок техногенних витоків. Далі по глибині простежуються неогенові суглинки, які є водотривом. Другий водоносний комплекс пов'язується з девонськими відкладами, які в приповерхневій частині порушені процесами вивітрювання і тому є колектором підземних вод, а починаючи з глибини близько 18 м є незмінними корінними породами – пісковики тріщинуваті водопроникні.

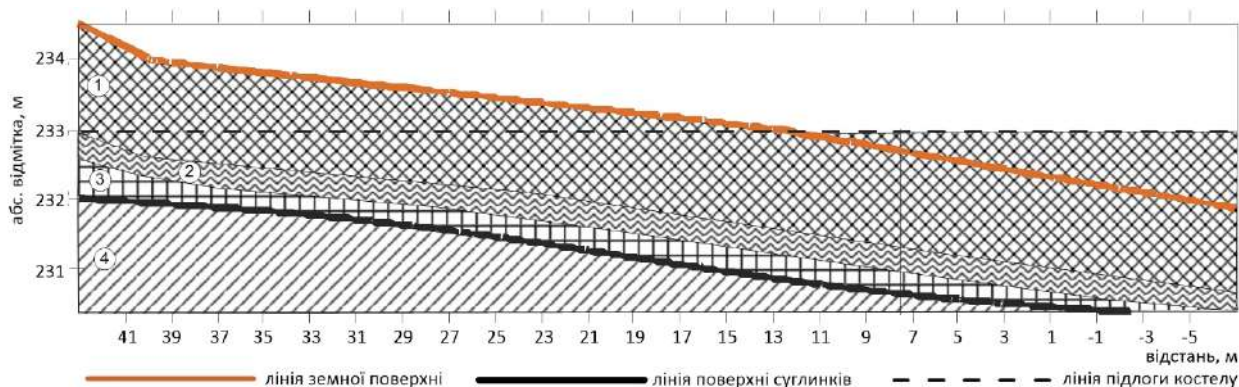


Рис. 3. Схематичний розріз по осьовій лінії костелу

Умовні позначення: 1 – насипний техногенний ґрунт – суглинок тугопластичний, м'якопластичний із включенням будівельних відходів; 2 – ґрунт чорноземний, суглинок тугопластичний, гумусований темно-сірий; 3 – суглинок тугопластичний із запливами гумусу, жовто-сірий; 4 – супісок тугопластичний, озалізнений, оглеєний, жовто-коричневий та жовто-сірий (глибина залягання від 2 м)

Аналіз результатів, отриманих методами ПЕП та БЕЗ. Розподіл потенціалів на карті площинної зйомки (рис. 4) свідчить про значне насичення ґрунту

поверхневими водами у дворіку костелу за рахунок опадів та подальший інтенсивний рух підземних вод зверху вниз. Навпроти костелу, за рахунок збільшення кількості

води, наближення приповерхневого водоносного горизонту до земної поверхні та підпору підземних вод у нижній частині схилу мурованою стінкою (чи дорожнім полотном), електричний потенціал значно збільшується за абсолютною величиною, набуваючи від'ємних значень. Відповідно до рельєфу земної поверхні та рельєфу покриття глинистих порід імовірна також фільтрація ґрунтових вод під підлогу костелу.

На рис. 4 зображено гіпотетичну схему руху приповерхневих підземних вод. Із розгляду схеми та попередніх розрізів випливає, що породи, на яких закладено фундамент костелу, належать до першого водоносного комплексу. Слід вважати доведеним фактом, що під костелом по горизонту супісків відбувається постійна фільтрація підземних вод. Ця фільтрація посилюється за рахунок дренавання підземних вод у шурфах розкопок та на ділянках з трав'яним покривом.

Глибинність методу ВЕЗ (15–20 м) дозволила закартувати шар глинистих порід, який за даними буріння відмічається як опорний і розглядається як сприятливий для розміщення в ньому фундаменту. За методом ВЕЗ підтверджено, що цей шар ділиться на два: зверху супісчані породи, а із глибини 4–9,5 – суглинисті. Під костелом ця межа на глибинах 4–4,5 м, що підтверджується результатами георадарної зйомки. Супісчаний шар є для води слабопроникним і водонасиченим, а суглинистий – непроникним. Це підтверджується наявністю води в будь-яку погоду в шурфах археологічних розкопок

Уточнення місцезнаходження крипти. Наявність крипти, збудованої в давньому храму 1610 р., підтверджують архівні джерела (Ostrowski, 2009). Відповідно до традицій давніх часів крипта будувалась під вітарем або на ділянці, яка переходила з центру костелу до вітаря. Крипта та підземний хід до неї звичайно виконувались як ями та траншеї, які обмуровували та перекривали як споруди аничного типу. Тобто треба шукати пустоту зі стінами значної потужності, тому що в цих стінах мали б бути ніші для поховання визначних осіб, у тому числі засновника костелу С. Гольського та братів домініканців. Вхід до крипти був або за межами костелу, або всередині. За архівними даними під час перебудови костелу в 1908–1910 рр. вхід до крипти було замуровано.

На час наших досліджень даних щодо конкретного розташування крипти в архівах не збереглося. Достовірну інформацію щодо розташування крипти отримано під час досліджень методами георадарної зйомки (ГРЗ) та резонансно-акустичного профілювання (РАП).

Горизонтальні хвильові та амплітудні зрізи георадіолокаційних масивів даних вивчалися на предмет наявності аномалій хвильового поля з ознаками архітектурної побудови в геологічному середовищі. Перспективні об'єкти були виділені на різній глибині по формі аномального поля, відносному понижень і затуханню сигналу. Тому якісна інтерпретація аномалій виконувалась на горизонтальних амплітудних зрізах із визначенням їх можливої природи. Водночас кількісні характеристики розраховувались за вертикальними хвильовими розрізами. Приклад диференціації за радіохвильовими параметрами наведено на рис. 5. На рисунку виокремлено аномальні зони, пов'язані з архітектурними будовами.

У цілому спостерігається інтегрована значна за розмірами аномалія в центрі храму (позначена червоною точковою лінією) з поворотом і продовженням на південь, яка, на наш погляд, пов'язана з криптою. Більш детальну характеристику надано на розрізах, що перетинають аномальне поле. Еліпсоподібна аномалія в північно-східній частині рисунку, що складається з 5 об'єктів, імовірно

пов'язана із залишками давнього цвинтаря за межами костелу до його реконструкції та розбудови.

На пошуки крипти, крім методу ГРЗ, був спрямований метод резонансно-акустичного профілювання. Результативними матеріалами методу РАП є діаграми амплітуд сигналу і часові розрізи. Як приклад на рис. 6 наведено діаграму амплітуд для двох окремих точок профілів. Ці діаграми дають уявлення, якими повинні бути відбиття у разі наявних підземних пустот, галерей, крипти та інших об'єктів. Діаграма з кривою 1 відповідає так званому фоновому полю, коли аномалій, пов'язаних із приповерхневими неоднорідностями у ґрунті, немає. Діаграма 2 характеризує наявність пустоти: у верхній частині спостерігаються два піки, які відображають покриття та підшову підземного ходу. Більш детальний аналіз виконується за результатами розгляду часових розрізів.

Кінцевим висновком комплексного розгляду результатів методів ГРЗ та РАП є схема, де суміщені контури давнього та реконструйованого костелів, а також закартованого підземного ходу та крипти (рис. 7). Як і слід було очікувати, ці штучні пустоти зосереджені у межах давнього фундаменту костелу. Підземні пустоти обмуровані та сухі. Крипта має розміри в площині 2,5×4,5 м. Вхід, імовірно, у проході з двору. Крипта розташована під давнім вітарем, що відповідає архівним джерелам.

Підлога підземного спорудження як для вхідної частини, так для власне крипти знаходиться на глибині 3,2 м. Щодо глибини стелі є відмінності: покриття знаходиться на глибині 0,6 м для крипти і на глибині 1,2 м для більш вузького входу.

Визначення ступеня напружено-деформованого стану гірських порід та елементів будівлі костелу. Ступінь напружено-деформованого стану гірських порід і споруд узгоджується з інтенсивністю природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ). Як зазначалося, інтенсивність ПІЕМПЗ вимірювалась по трьох взаємно-перпендикулярних антенах E_x , E_y , E_z у діапазонах частот 36–50 кГц та 2–16 кГц. Найбільш диференційованим виявилось поле на високих частотах. Розрахована глибинність досліджень сягала 4 м. На низьких частотах поле за конфігурацією узгоджується з полем високих частот. Результати обробки на різних частотах візуалізовані і в даній статті представлені для повного вектора інтенсивності $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$ для діапазону частот 36–50 кГц (рис. 8). Для зручності опису аномалії або комплексу аномалій на рисунку пронумеровано від одного до п'яти – відповідно до причин, що зумовлюють аномалії. При цьому нижче описано аномалії підвищеної інтенсивності.

Аномалія 1. Виявлена в центрі костелу і територіально узгоджується з частиною аномалій ГРЗ та РАП над підземним ходом. Зі сходу обмежена виразною тріщиною на підлозі. Аномалії 2 обмежені тріщинами із заходу і сходу, тяжіють до крипти. На рисунках для низьких частот аномалії 1 і 2 об'єднуються в одну. Аномалії 3 притаманні основі південної та північної стінок будівлі у східній її половині. Полосоподібну аномалію 4 виявлено в західній частині "старої" будівлі 1610 р. Аномалія 5 у східній частині костелу в новобудові (1910 р.) під баштою найбільш значна за інтенсивністю і має яскраво виражений площинний характер. На ділянках всіх зазначених аномалій є тріщини на підлозі, які свідчать про напружено-деформований стан костелу. Такі ж тріщини спостерігаються на стінах над аномаліями 3. Отже, костел не є стабільним, тобто будівля костелу перебуває у фазі впливу додаткових механічних навантажень.

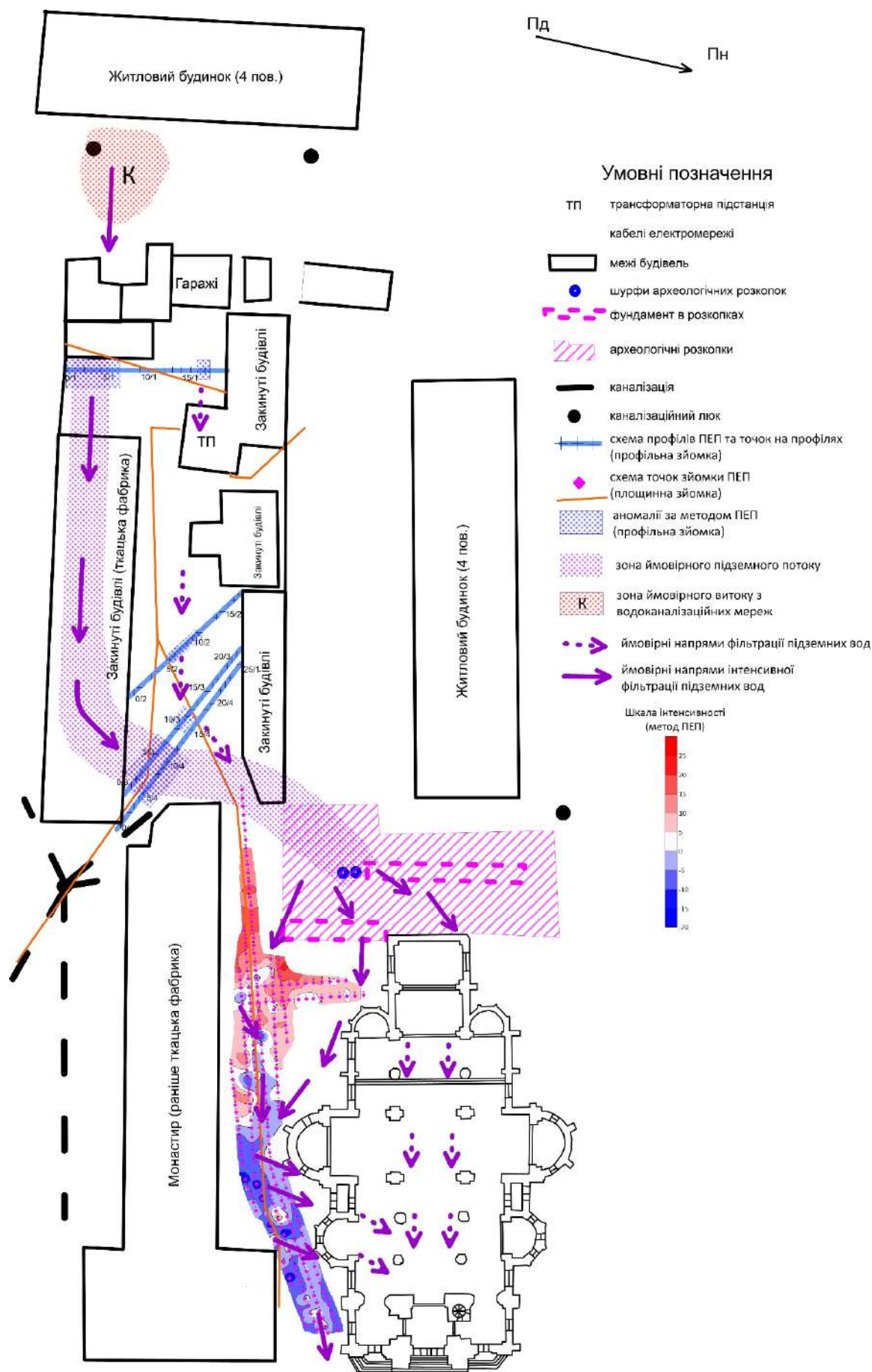


Рис. 4. Схема руху підземних вод

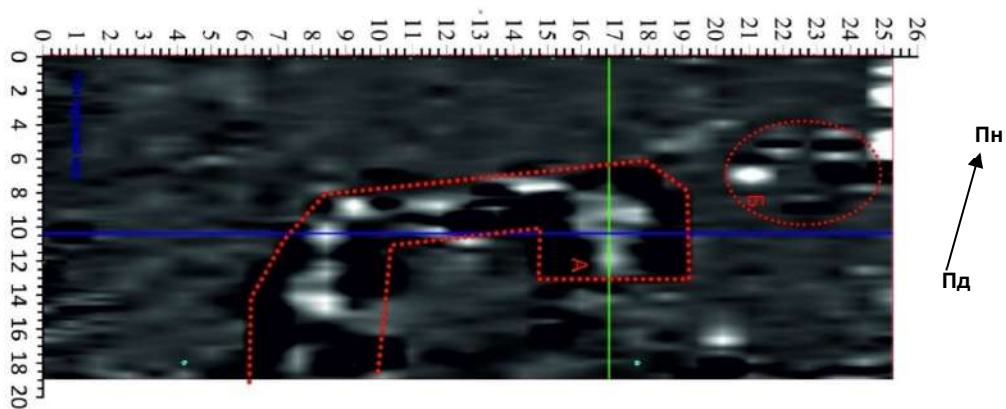


Рис. 5. Радіохвильовий розріз центральної частини території храму

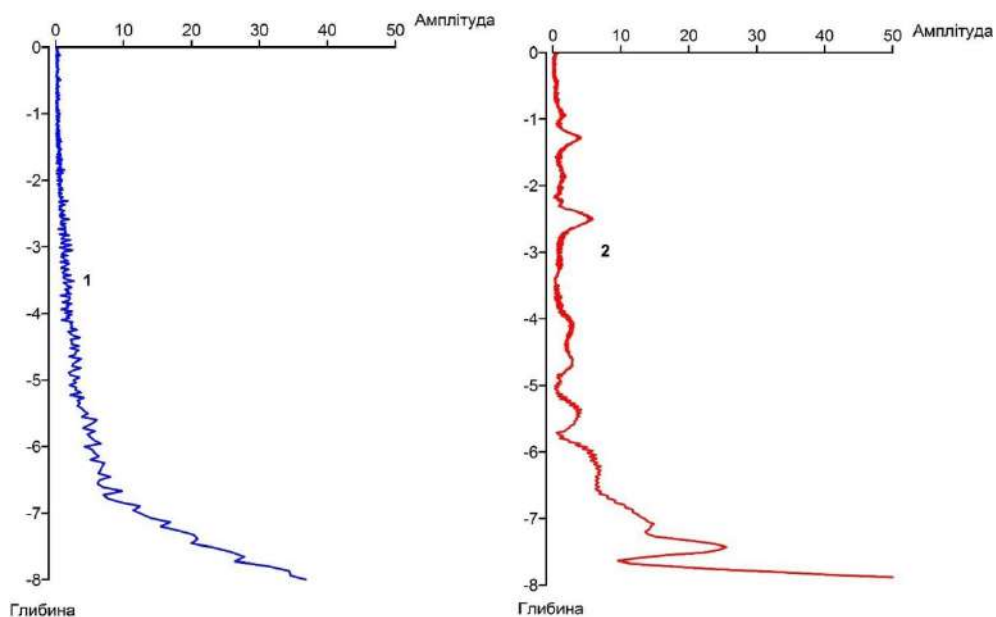


Рис. 6. Результативні матеріали за методом РАП

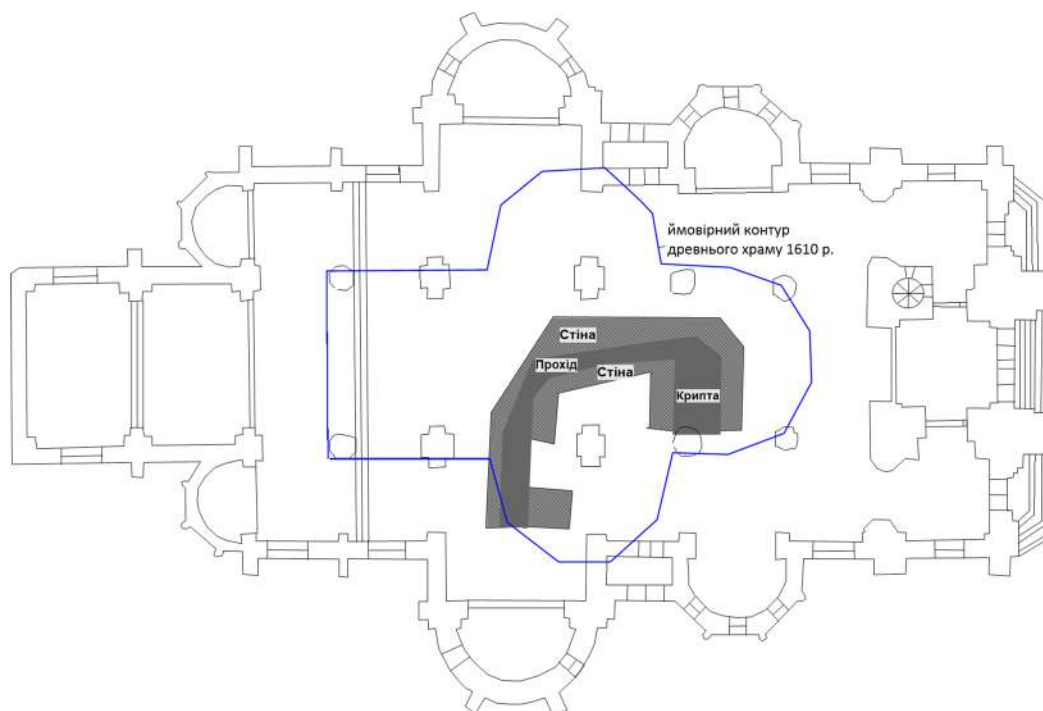


Рис. 7. Схема розташування підземного ходу та крипти

Для кращого розуміння процесів розвитку деформацій побудовано карту графіків інтенсивності ПІЕМПЗ по профілях, які паралельні довгій осі костелу. Карта графіків дозволяє не тільки розглядати розподіл аномалій по площині, а й корелювати їх та простежувати ідентичні елементи. Розгляд карти графіків приводить до таких висновків. На карті виділяються зони підвищених і понижених значень інтенсивності поля. Ці зони на рисунках визначаються смугами, які чергуються. Смуги аномалій паралельні поперечним тріщинам на підлозі костелу. Тому слід вважати, що такі смуги відповідають наявності зсувного процесу, коли зони стиску чергуються із зонами розтягування. Зокрема, зони аномалій підвищених значень ПІЕМПЗ – це зони активного

стиску. Зони аномалій понижених значень – зони розтягування. Границі аномалій ускладнені за рахунок впливу крипти та підземного ходу.

Визначення наявності екзогенних геологічних процесів. Візуальні спостереження території, що прилягає до костелу, дозволяють зробити висновок щодо наявності зсувних процесів і, відповідно, суфозії. Це виражається в хвиляподібному рельєфі дорожнього полотна на вулиці, яка проходить по схилу вниз до річки Серет паралельно костелу. Наявність такого рельєфу як одну з першочергових ознак зсуву зазначено в багатьох літературних джерелах, зокрема в працях Г.І. Рудька (Рудько та ін., 2006).

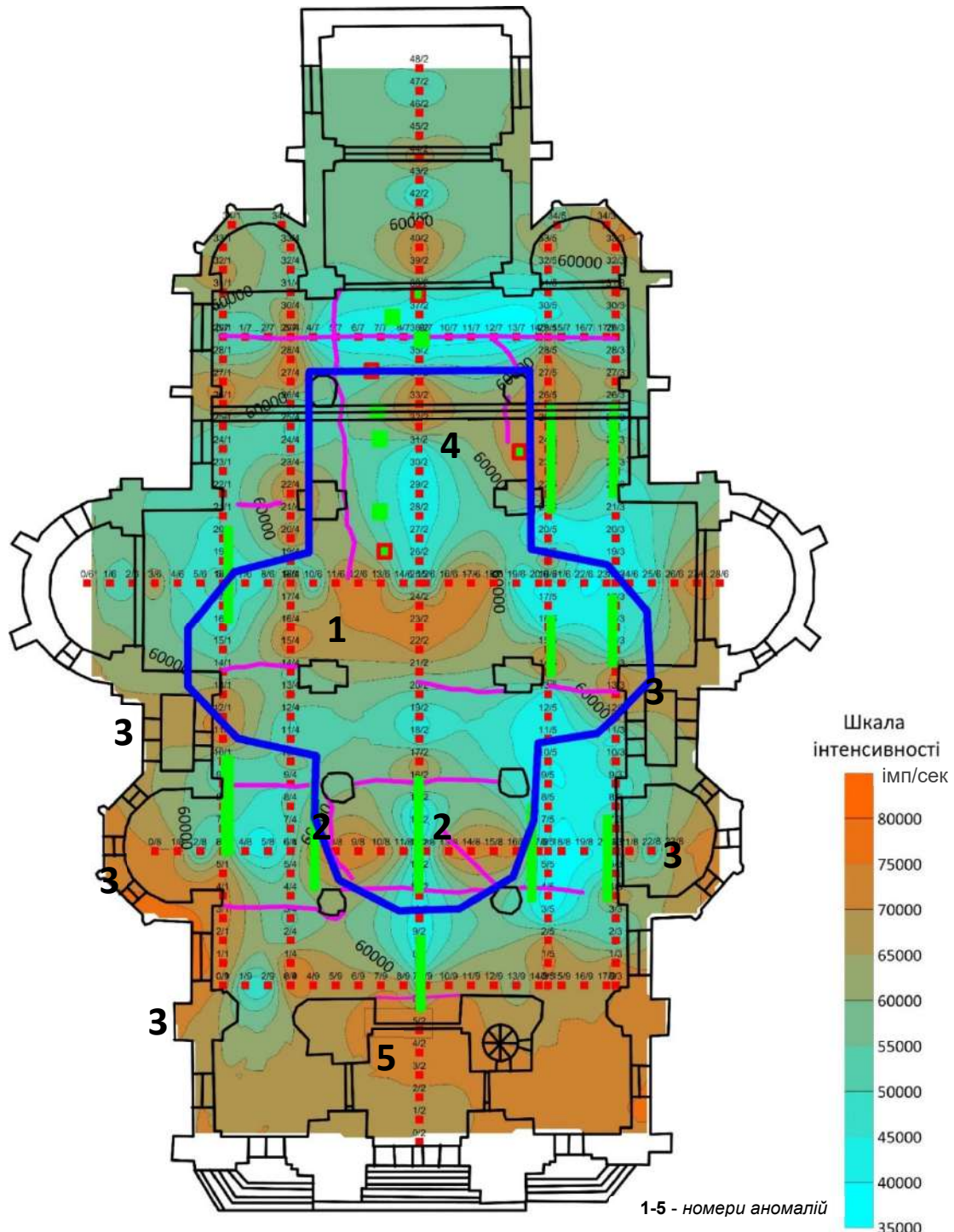


Рис. 8. Карта інтенсивності випромінювання електромагнітного поля

З геологічного погляду зсув пояснюється наявністю глинистих уволожених порід у верхній частині розрізу (Кузьменко та ін., 2012). Це природний фактор. Інтенсивний рух транспорту є штучним техногенним фактором, який ініціює та активізує зсувні процеси. Слід відмітити ознаки зв'язку візуально спостереженого зсувного процесу з деформаціями будівлі костелу. Зокрема, на вул. С. Бандери спостерігаються "зсувні хвилі", спрямовані в сторону костелу. Проекції цих "хвиль", а саме їх подальше просторове продовження стінки відриву збігається з положенням тріщин на бічній стіні, яка звернена в бік вулиці. Ці тріщини унаслідуються в підлозі. Їх напрямок поперек схилу збігається з напрямком стінки відриву зсуву та подальшим простяганням хвиль деформації, тобто зсувних сходинок.

У геофізичному полі природного імпульсного електромагнітного поля Землі виділяється ділянка в нижній частині костелу надзвичайно високої інтенсивності

випромінювання. Слід вважати, що причиною її є активні динамічні деформації (рис. 9). Ця ділянка корелює із зсувом поза межами костелу. Тобто цей зсув простягається і під костел. Отже, зіставлення візуальних спостережень зсуву та геофізичного поля ПІЕМПЗ свідчить на користь нашої гіпотези розвитку зсуву.

Незаперечним підтвердженням видавлювання та сповзання глинистих порід під нижньою (східною) частиною будівлі костелу є зміна положення з часом масиву глинистих порід щодо земної поверхні, яке нами відмічено на основі аналізу ізоліній рельєфу та ізоліній залягання покрівлі глинистих порід.

Отже, однією з причин деформації будівлі костелу є зсувні процеси та просідання. Поряд з природними факторами (геологічна будова), незаперечним є фактор техногенного впливу, а саме силове (механічне) навантаження на схил завдяки руху транспорту, а також уволоження гірських порід.

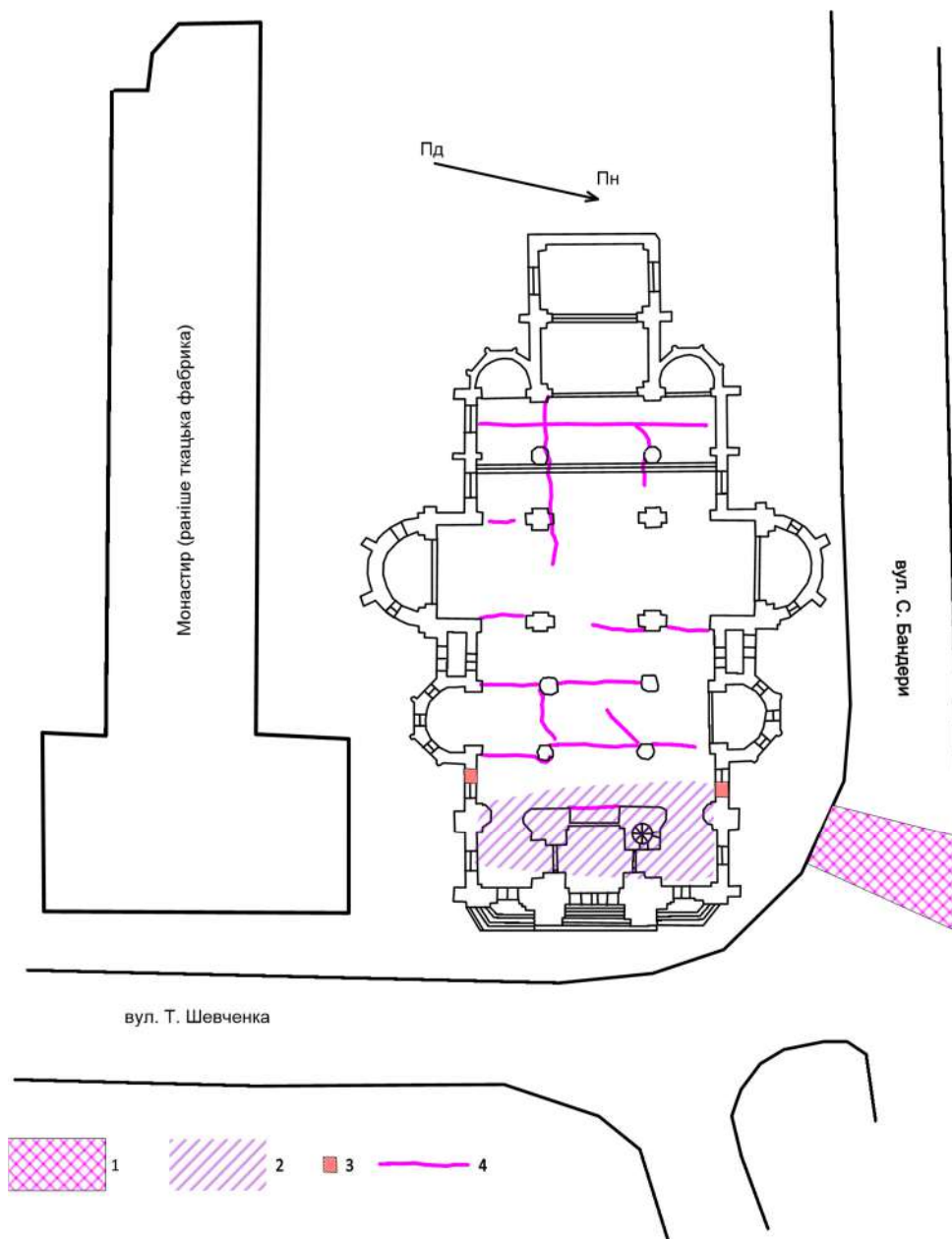


Рис. 9. Схема розташування зсуву

Умовні позначення: 1 – хвилоподібні деформації дорожнього полотна; 2 – аномалії ПІЕМПЗ, що відповідають зсуву; 3 – тріщини в стінах; 4 – тріщини в підлозі

Висновки. Домініканський костел Матері Божої св. Розарія та св. Станіслава, який розташований в місті Чортків Тернопільської області, є визначною культовою спорудою та архітектурною пам'яткою стилю пізньовісленської готики. На сьогодні це дієвий деканальний храм Чортківського деканату Римсько-католицької церкви в Україні.

1. Передумовою виконання науково-дослідних геолого-геофізичних робіт на території Домініканського костелу та на прилеглих ділянках є деформації окремих елементів будівлі костелу, які виражаються в наявності тріщин на підлозі костелу та його стінах, а також у підтопленні нижньої частини костелу під час інтенсивних опадів.

2. Дослідженнями встановлено факт напружено-деформованого стану будівлі костелу, що відображено у підвищенні рівня інтенсивності імпульсного електромагнітного поля Землі, яке відповідає силовим навантаженням на будівельні елементи та їх динамічному розвитку. Зазначені навантаження чергуються за схемою стиск-розтягнення, вниз по схилу, що звичайно відповідає зсувним процесам.

3. Однозначно встановлено наявність яскраво вираженої аномальної зони підвищеного напружено-деформованого стану в нижній частині костелу, яка пов'язана з розвитком зсувних процесів у гірських породах, спрямованих вниз по схилу до річки Серет. Зазначена зсувна зона візуально відображена у хвиляподібному рельєфі дорожнього полотна по вулиці, яка прилягає до костелу. Рух транспорту вулицею є вагомим фактором активізації зсуву.

4. Однією з причин інтенсифікації повзучості гірських глинистих приповерхневих порід та зменшення їх міцності є зволоження схилу, яке відбувається через: наявність природної фільтрації підземних вод вниз по схилу до костелу; розкопи вище костелу та наявність штучних дренажних ям, з яких під фундамент дренається вода; наявність дворику попри стіну костелу, де нагромаджене під рослинним покривом "будівельне сміття", в яке інфільтруються і по якому фільтруються підземні води. Останнє підтверджено наявністю інтенсивного поля електричних фільтраційних потенціалів, даними буріння та електричних зондувань.

5. Під підлогою костелу геометризована за розмірами крипта, підземний хід, що веде до неї, а також стіни крипти. Пустоти виявлені за методами георадарного зондування та резонансного акустичного профілювання. Крипта у задовільному стані; завдяки стінам та арочному перекриттю вона не затоплена. На цілісність будівлі костелу наявність крипти не впливає.

6. За даними науково-дослідних робіт сформовано першочергові заходи щодо стабілізації будівлі костелу, серед яких є:

- припинення руху по ділянках вулиць, що прилягають до костелу, планування цих вулиць та перетворення їх на пішохідну зону;

- протифільтраційні заходи із запобіганням поглинання води гірськими породами, у тому числі археологічними спорудами, та побудовою непроникної стіни в ґрунті.

7. Подальші дослідження стосуються налагодження системи моніторингу з використанням геофізичних методів та режимних топогеодезичних спостережень.

Список використаних джерел

Бондар, К.М., Дараган, М.М., Прилуков, В., Полін, С.В., Цюпа, І.В., Діденко, С.В. (2019). Магнітометрія скіфського курганного могильника Катеринівка у Нижньому Подніпров'ї. *Геофізичний журнал*, 41, 134-152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172438>.
Бондар, К.М., Хоменко, Р.В., Чернов, А.П., Кукса, Н.В. (2020). Результати георадарного обстеження Ільїнської церкви — усыпальниці Богдана Хмельницького в Субботові. *Геофизический журнал*, 3 (42), 175-194. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204709>

Григель, Д.І., Кітура, В.М. (2020). Заключення за результатами технічного обстеження споруди Домініканського костелу в м. Чортків Тернопільської області. Тернопіль.

Дудкін, В.П., Кошелев, І.Н. (1999). Методы комплексной интерпретации результатов магнитометрической съемки археологических памятников. *Археометрия и охрана историко-культурной наследия*, 3, 11-24.
Загний, Г.Ф. (1979). Структура археологических вариаций геомагнитного поля на Украине и в Молдавии за последние 5500 лет. *Дисс. ... канд. физ.-мат. наук*. Ин-т геофиз. АН УССР. Киев

Загний, Г.Ф., Кривц, В.А., Русаков, М. (1971). Опыт применения протонного магнитометра в археологии. *СА*, 3.

Кузьменко, Е., Багрий, С., Чепурний, І., Штогрин, М. (2017). Оцінка небезпеки приповерхневих деформацій гірських порід у межах Стебницького калійного родовища методом ПІЕМПЗ. *Геодинаміка*, 22, 98-113. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.098>.

Кузьменко, Е.Д., Чепурний, І.В., Нікітас, О.О., Штогрин, Л.В. (2012). Довгостроковий прогноз зсувної активності на території правобережжя Київського водосховища. *Геодинаміка*, 1(12), 93-102. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.093>.

Орлюк, М., Ролле, Р., Роменец, А., Ульрих, Б., Цольнер, Х. (2016). Микромангитная съемка Большого Бельского городища скифского времени, Полтавская область. *Геофизический журнал*, 5(38), 25-39.

Рудько, Г.И., Ерыш, И.Ф. (2006). Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты). Монография. Киев: Задруга.

Annan, A.P. (2003). *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures and Applications*. Sensors and Software, Mississauga, Ont., Canada.

Atkinson, R.J.C. (1953). *Field Archaeology*. 2nd ed., London.

Belshé, J. C. (1957). Recent magnetic investigations at Cambridge University. *Advances in Physics*, 6(22), 192-193.

Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kądziałko-Hofmokl, M., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Bondar, K., Matviishina, Zh. (2008). Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine. *Acta Geophysica*, 49, 1012-1033. <https://doi.org/10.2478/S11600-008-0036-8>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2018). The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENEMF). *Journal of Geology, Geography and Geology*, 27 (3), 466-477. <https://doi.org/10.15421/111870>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2020). Correlation of natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations, which appeared in exhausted salt fields in the Precarpathians for karst creation forecasting. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (89), 79-88. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>.

Ostrowski, J.K. (2009). Kościół i klasztor rzymskokatolickie dawnego województwa ruskiego. *Praca zbiorowa*, tom 17, 900.

Panissod, C., Dabas, M., Jolivet, A., Tabbagh, A. (1997). A novel mobile multipole system (MUCEP) for shallow (0-3 m) geoelectrical investigation: the "Vol-de-canards" array. *Geophys. Prospect*, 45, 983-1002.

Papadopoulos, N.G., Tsokas, G.N., Dabas, M., Yi, M.-J., Kim, J.-H., Tsourlos, P. (2009). Three-dimensional inversion of automatic resistivity profiling data. *Archaeol. Prospect*, 16, 267-278.

Schmidt, A., Linford, P., Linford, N., David, A., Gaffney, C., Sarris A., and Fassbinder J. (2015). Guidelines for the use of Geophysics in Archaeology: Questions to Ask and Points to Consider. *Namur: Europae Archaeologia Consilium (EAC)*.

Zuikov, I.V. and Bedinov V.V. (2011) Application of the Resonance-Acoustic Profiling method for engineering and geological surveys. *Engineering Survey*, 11, 52-58.

References

Annan, A.P. (2003). *Ground Penetrating Radar Principles, Procedures and Applications*. Sensors and Software, Mississauga, Ont., Canada.

Atkinson, R.J.C. (1953). *Field Archaeology*. 2nd ed., London.

Belshé, J. C. (1957). Recent magnetic investigations at Cambridge University. *Advances in Physics*, 6(22), 192-193.

Bondar, K.M., Daragan, M.M., Prylukov, V., Polin, S.V., Tsyupa, I.V., Didenko, S.V. (2019). Magnetometry of the Scythian mound cemetery Katerynivka in the Lower Dnieper. *Geophysical Journal*, 41, 134-152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i3.2019.172438>. [in Ukrainian]

Bondar, K.M., Khomenko, R.V., Chernov, A.P., Kuksa, N.V. (2020). Results of the georadar survey of the Ilyinsky Church - the tomb of Bohdan Khmelnytsky in Subbotov. *Geophysical Journal*, 3 (42), 175-194. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204709>. [in Russian]

Dudkin, V.P., Koshelev, I.N. (1999). Methods of complex interpretation of results of magnetometric survey of archaeological monuments. *Archaeometry and protection of historical and cultural heritage*, 3, 11-24. [in Russian]

Grigel, D.I., Kitura, V.M. (2020). Conclusion based on the results of the technical inspection of the building of the Dominican Church in Chortkiv, Ternopil region. Ternopil. [in Ukrainian]

Jeleńska M., Hasso-Agopsowicz A., Kądziałko-Hofmokl M., Kopcewicz B., Sukhorada A., Bondar K., Matviishina Zh. (2008). Magnetic structure of polluted soil profiles from Eastern Ukraine. *Acta Geophysica*, 49, 1012-1033. <https://doi.org/10.2478/S11600-008-0036-8>.

Kuzmenko, E.D., Chepurny, I.V., Nikitash, O.O., Shtohryn, L.V. (2012). Dvohostrokoviy prognos zsuвної aktivnosti na terytorii Pravoberezhzhia Kyivskoho vodoshovyscha. *Geodynamics*, 1(12), 93-102. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.093>. [in Ukrainian]

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2018). The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENPEMF). *Journal of Geology, Geography and Geology*, 27 (3), 466-477. <https://doi.org/10.15421/111870>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Dzoba, U. (2020). Correlation of natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations, which appeared in exhausted salt fields in the Precarpathians for karst creation forecasting. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (89), 79-88. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>.

Kuzmenko, E., Bagriy, S., Chepurnyi, I.V., Shtohryn, M. (2017). Estimation of hazards of the surface deformations of rocks within Stebnyk potassium salt deposit area by method ENPEMF. *Geodynamics*, (22), 98-113. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.098>. [in Ukrainian]

Orlyuk, M., Rolle, R., Romenets, A., Ulrich, B., Zolner, H. (2016). Micromagnetic survey of the Great Bielsko settlement of the Scythian period, Poltava region. *Geophysical Journal*, 5(38), 25-39. [in Russian]

Ostrowski, J.K. (2009). Kościoły i klasztory rzymskokatolickie dawnego województwa ruskiego. *Praca zbiorowa*, tom 17, 900.

Panissod, C., Dabas, M., Jolivet, A., Tabbagh, A. (1997). A novel mobile multipole system (MUCEP) for shallow (0-3 m) geoelectrical investigation: the 'Vol-de-canards' array. *Geophys. Prospect*, 45, 983-1002.

Papadopoulos, N.G., Tsokas, G.N., Dabas, M., Yi, M.-J., Kim, J.-H., Tsourlos, P. (2009). Three-dimensional inversion of automatic resistivity profiling data. *Archaeol. Prospect*, 16, 267-278.

Rudko, G.I., Yerysh, I.F. (2006). Landslides and other geodynamic processes of mountain-folding regions of Ukraine (Crimea, Carpathians). Monograph. Kiev, Zadruga. [in Russian]

Schmidt, A., Linford, P., Linford, N., David, A., Gaffney, C., Sarris A., and Fassbinder J. (2015). Guidelines for the use of Geophysics in Archaeology: Questions to Ask and Points to Consider. Namur: Europae Archaeologia Consilium (EAC).

Zagniy, G.F. (1979). The structure of archeological variations of the geomagnetic field in Ukraine and Moldova over the last 5500 years. *Thesis ... Cand. Sci. (Phys.-Math.)*. Inst. of Geophysics. USSR Academy of Sciences. Kyiv. [in Russian]

Zagniy, G.F., Kruts, V.A., Rusakov, M. (1971). Experience in using a proton magnetometer in archeology. *SA*, 3. [in Russian]

Zuikov, I.V. and Bedinov V.V. (2011) Application of the Resonance-Acoustic Profiling method for engineering and geological surveys. *Engineering Survey*, 11, 52-58.

Надійшла до редколегії 18.03.22

E. Kuzmenko¹, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com;
V. Maksymchuk², Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;

I. Chepurnyi¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: igor.chepurnyi@gmail.com;
S. Bagriy¹, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: gbg2020@ukr.net ;

O. Romaniuk², PhD (Geol.),
E-mail: carp@cb-igph.lviv.ua;

R. Kuderavets², PhD (Geol.),
E-mail: romankuderavets@gmail.com;

¹Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine;

²Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,
3-b, Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

DOMINICAN CHURCH IN CHORTKIV: GEOLOGICAL CONDITIONS, THE CRYPT GEOMETRIZATION, THE BUILDING STABILIZATION

The article is devoted to the results of geological and geophysical research conducted on the territory of the Dominican Church in Chortkiv, Ternopil region to determine the stress-strain state of building elements and search for voids and compaction zones in the subsurface soil layer.

Research methods were methods of natural pulsed electromagnetic field of the Earth, vertical electric sounding, natural electric potentials, radio wave acoustic profiling, and georadar sounding.

The reasons for the development of dangerous processes that negatively affect the condition of the church building are identified and analyzed. It is established that the causes of these deformations are the geological structure of the rocks on which the church is built, the slope of the terrain, natural soil moisture, heavy traffic and the creation of additional sources of water infiltration.

Keywords: engineering-geological conditions, stress-strain state, geophysical researches, deformations, archeology.