

ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕОРАДАРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗАПОВІДНИКА “СОФІЯ КИЇВСЬКА” ДЛЯ ВИРІШЕННЯ АРХЕОЛОГІЧНИХ ЗАВДАНЬ

К.М. Бондар¹, Т.А. Бобровський², І.В. Цюпа¹

¹ННІ “Інститут геології” Київського національного університету імені Тараса Шевченка, вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна, e-mail: ks_bondar@ukr.net, tsyupa@ukr.net

²Національний заповідник “Софія Київська”, вул. Володимирська, 24, м. Київ, 01001, Україна, e-mail: bobrovskij@ukr.net

Робота присвячена вивченню ефективності георадарних досліджень за допомогою приладу VIY-2 (Transient technologies, Україна) з робочою частотою антени 300 МГц для виявлення пустот і залишків похованих фундаментів на території Національного заповідника “Софія Київська”. На ділянці біля брами Заборовського достовірно зафіксовано фундаменти прибудови XI–XII ст. до церкви XI ст., а також, в окремому випадку, фундамент церкви XI ст. у фундаментному рові. При цьому на радарограмах є відгуки не тільки від верхньої кромки фундаментів, а й від їх основи. Добре виражена і консерваційна засипка фундаментів, що зроблена з піску, ґрунту та глини, яку виконано за 9 міс до початку досліджень. Печерні споруди, наявні на ділянках за археологічними даними, не відображені на радарограмах, оскільки залягають в інтервалі глибин 2,5–5 м. Такої глибини зондування не вдалося досягти на робочій частоті приладу 300 МГц у зволоженому супіску через високий ступінь згасання сигналу.

Ключові слова: георадарний метод, археологічний об’єкт, фундамент, печерна споруда, лес.

Вступ. У грудні 2014 р. між Національним заповідником “Софія Київська” та Київським національним університетом імені Тараса Шевченка було підписано угоду, згідно з якою сторони домовилися співпрацювати з метою виявлення і дослідження просторової структури підземних об’єктів неруйнівними методами. Одним з етапів такої співпраці стало вивчення ефективності георадарних досліджень для виявлення пустот і залишків похованих фундаментів на території заповідника.

Для вивчення приповерхневої частини геологічного розрізу часто залучають георадарний метод (георадіолокація або метод височастотних електромагнітних зондувань) – хвильовий метод, який дає змогу отримувати інформацію про параметри середовища, яка міститься в характеристиках електромагнітних хвиль, що відбиваються від структурних неоднорідностей [8, 10]. Метод широко застосовують під час археологічних досліджень, він є оптимальним в умовах міської забудови та на багаточисельних пам’ятках. Пошук похованих об’єктів, дослідження стратиграфії та планіграфії пам’ятки, оцінювання цілісності колон, фундаментів і стін історичних споруд складають класичне коло завдань археологічної георадіолокації [9, 11].

У попередні роки польові інженерно-геофізичні спостереження в Києві на території об’єктів історико-культурної спадщини з метою виявлення аномалій у приповерхневих шарах геологічного середовища проводили в рамках програмно-цільового підходу до розв’язання проблеми збереження архі-

тектурної спадщини на урбанізованій території за умов зростаючого еколого-техногенного навантаження на геологічне середовище [5–7].

Дослідження фундаментів і геофізичне картування підземних порожнин, в тому числі із застосуванням георадарного методу, на території Національного заповідника “Софія Київська” у 2002 р. висвітлено у статті С.П. Левашова [2]. Встановлено, що фундамент Дзвіниці є суцільною плитою завтовшки 4 м, а фундамент собору заглиблений на 1,2–1,7 м. Автором статті [2] закартовано серію лінійних геоелектричних аномалій, які можуть бути зумовлені підземними порожнинами. Найбільшою з них є аномальна зона завширшки 4 м, яка простягається від будівлі собору до будинку Бурси. Як стверджує автор, георадарне зондування біля адміністративної будівлі підтвердило наявність там порожнин. Утім радарограми в цій роботі не наведено. С.П. Левашов за допомогою комплексу геофізичних методів виявив потенційні ділянки знаходження підземних ходів на території Михайлівського Золотоверхого собору [2] та біля Звіринецьких печер [3]. Натомість результати зазначених досліджень не перевіряли археологічними методами, тому достовірність запропонованих для них інтерпретацій залишається під сумнівом.

Позитивний досвід георадарних спостережень на лесоподібних суглинках у Києві отриманий, зокрема, на території Києво-Печерської лаври [1], де поруч з Успенським собором вдалося ідентифікувати не документовані раніше склепи.

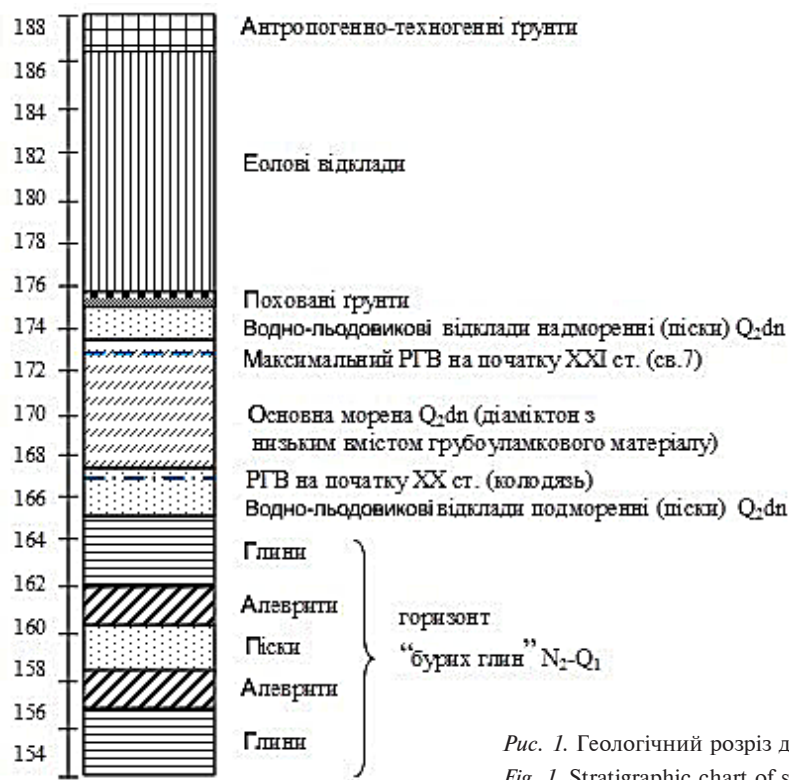


Рис. 1. Геологічний розріз ділянки дослідження
Fig. 1. Stratigraphic chart of study area

Основне завдання нашого дослідження — проведення профільних спостережень за допомогою приладу VIY-2 (Transient Technologies, Україна), оснащеного антеною з робочою частотою 300 МГц, у місцях з частково відомою стратиграфією, встановленою археологічними розкопками минулих років. Під час опрацювання та інтерпретації георадарних даних переважно використано стандартний набір фільтрів, рекомендований виробником.

Територія дослідження. Національний заповідник “Софія Київська” розташований на підвищеній ділянці київського лесового плато з абсолютними позначками поверхні 186,4–191,6 м.

За даними буріння свердловин [4], встановлено, що в основі ґрунтової товщі залягають строкати глини міоцен-пліоценового віку та горизонт пліоцен-четвертинних бурих глин. Вище залягають відклади дніпровського льодовикового комплексу (моренні суглинки, флювіогляціальні піски та супіски), які перекриті лесовою товщею. У верхній частині лесової товщі поширені лесові супіски потужністю 7–0 м, у нижній — лесоподібні суглинки потужністю 2–3 м. Лесову товщу підстеляє шар похованого ґрунту — збагачена органічною речовиною лесоподібна супісь потужністю 0,5–1,5 м (рис. 1).

Усі пам’ятки заповідника переважно побудовані на стрічкових фундаментах, які спираються на лесоподібні супіски. Абсолютні позначки мінімальних рівнів ґрунтових вод (РГВ) варіюють у межах 175,0–71,0 м, максимальних — 177,0–171,0 м (амплітуда коливання протягом року 0,3–1,0 м).

Ми дослідили дві ділянки на території заповідника: перша — на території колишнього Митро-

полічного саду біля брами Заборовського, друга — майданчик між будівлями Софійського собору, Братського корпусу та Бурси (рис. 2).

Територія заповідника щільно вкрита різноманітними комунікаціями — водогін, електрокабелі, теплотраси, які добре проявляються на радарограмах, а отже, заважають ідентифікації нижчезалягаючих об’єктів, оскільки метод чутливий головню до верхніх крамок похованих об’єктів.

Результати спостережень та їх археологічна інтерпретація. Розглянемо отримані радарограми у зіставленні з археологічними і архівними даними щодо розташування підземних об’єктів.

Ділянка 1 у попередні часи була частково досліджена археологічно. У 1910 р. розкопано залишки давньоруської церкви XI ст. з фрагментарно збереженим муруванням фундаментів уздовж південної стіни будівлі (верхівка — на глибині близько 1–1,5 м від сучасної денної поверхні) та порожніми фундаментними ровами в інших частинах храму, закладеними на глибину до 2,5 м від сучасної денної поверхні. Фундаментні рови храму виконані у лесових супісках. Після досліджень розкоп 1910 р. було засипано ґрунтом, змішаним з давньоруськими будівельними матеріалами (цеглою-плінфою, камінням і шматками вапняно-цем’яного розчину).

У 2014 р. щільно до розкопу 1910 р. було розчищено фундаменти прибудови, здійсненої у XI–XII ст. до південної стіни зазначеного храму. Фундаменти виконано з каміння та плінфи на вапняно-цем’яновому розчині у неглибоких фундаментних ровах, дно яких було вкрите уламками пірофілітового сланцю. Верхівку фундаментів зафіксовано на

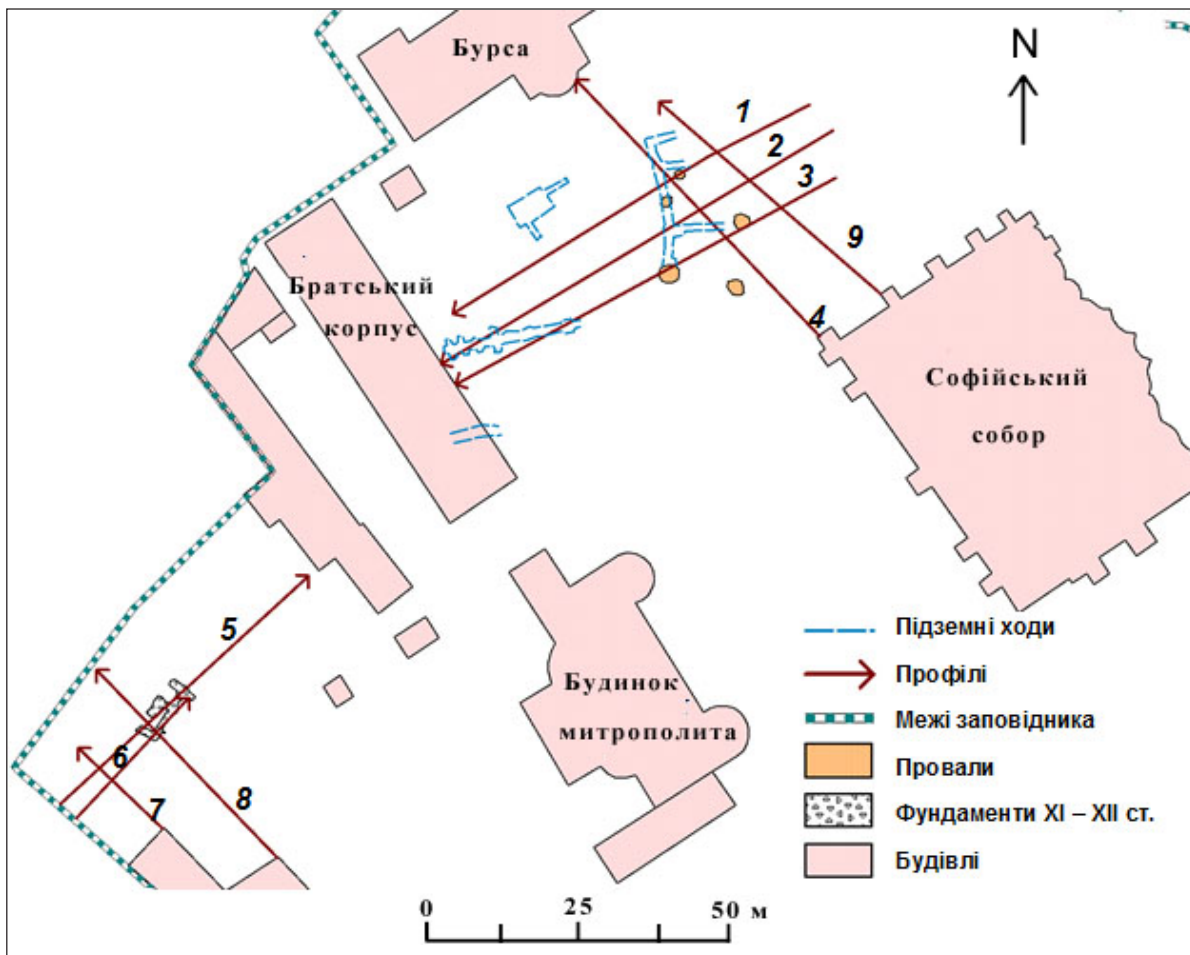


Рис. 2. Схема розташування ділянок георадарних досліджень

Fig. 2. Location of GPR lines

глибині близько 0,5 м від сучасної денної поверхні, а їх нижній обріз сягає глибини 1,0–1,25 м від сучасної денної поверхні. Розкопом 2014 р. також було виявлено печерну споруду пізньосередньовічного часу, розташовану на глибині близько 3 м від сучасної денної поверхні (склепіння) та виконану у материковому лесі без додаткового укріплення стін і склепіння. Розкоп 2014 р. після завершення досліджень було законсервовано складною засипкою: піщаною подушкою понад муруваннями фундаментів; ґрунтом, змішаним з цем'ярковою крихтою та битою цеглою; глиняною стяжкою по верху. На дні найбільших заглибін на місці кількох стародавніх господарських ям і поховань з видаленням під час розкопок заповненням було влаштовано 20–30 см підсіпки гравію.

У 2009 р. на зазначеній ділянці у напрямку на південний захід від розкопів 1910 і 2014 рр. під час робіт з благоустрою території на глибині до 0,5 м від сучасної денної поверхні було виявлено фундаменти цегляної будівлі XVIII–XIX ст., з якою, ймовірно, слід пов'язувати згадану вище печерну споруду.

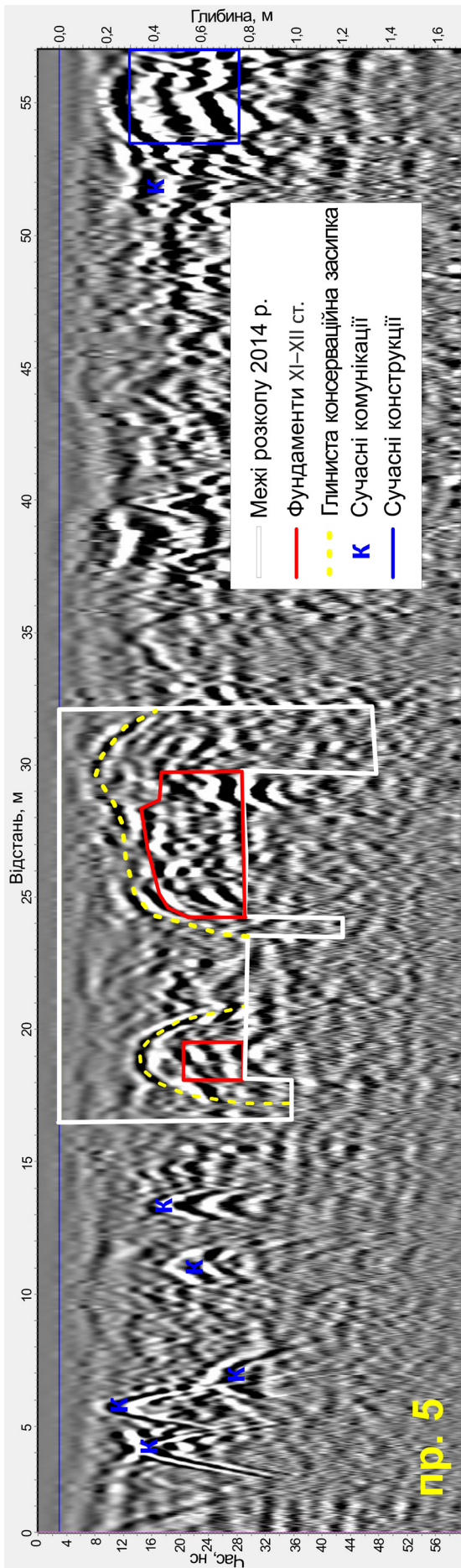
Згідно із спостереженнями за характером культурного шару на зазначеній території, можна стверджувати, що материковий лес залягає на глибині від

0,8 до 1,2 м від сучасної денної поверхні, при цьому, його перекривають нашарування гумусної консистенції з різним ступенем змішаності з перевідкладеним лесовим супіском і будівельним сміттям.

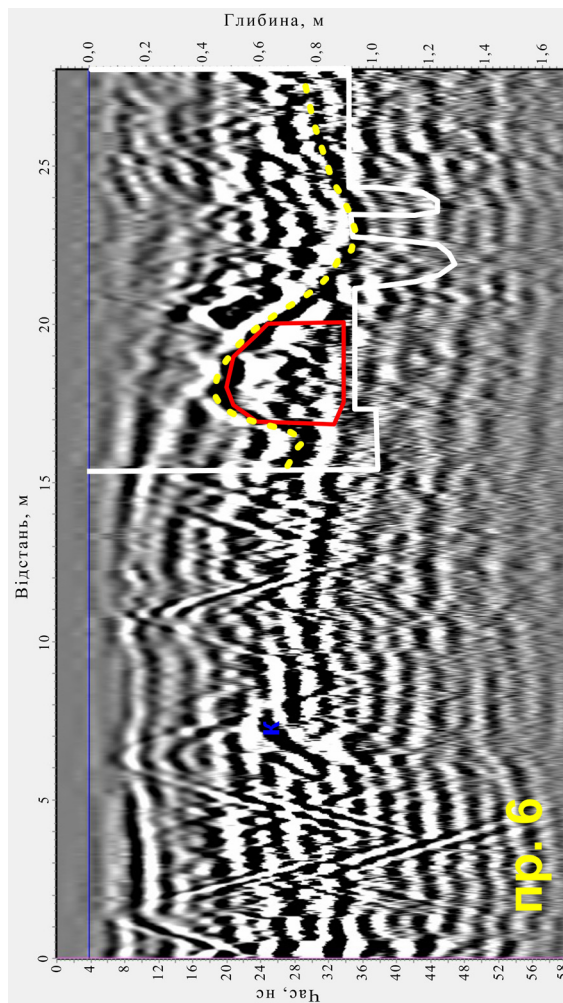
На ділянці 1 пройдено 4 георадарні профілі (№ 5–8). Розкопки 2014 р. дали змогу зіставити радарограми з реальними археологічними даними. Оскільки розкопками розкрито не лише старовинні об'єкти, а й деякі комунікації, є можливість відкалібрувати часовий розріз-радарограму за глибиною. Добираючи швидкість поширення сигналу в середовищі на цій ділянці, ми зупинилися на значенні, що властиве зволоженому суглинку, – 90 м/мкс.

На профілях 5 і 6 (рис. 3, а, б), які перетинають розкоп 2014 р. (див. рис. 2), зафіксовано аномалії, які за топографічним і стратиграфічним положенням можуть бути ототожнені із залишками фундаментів прибудови XI–XII ст.

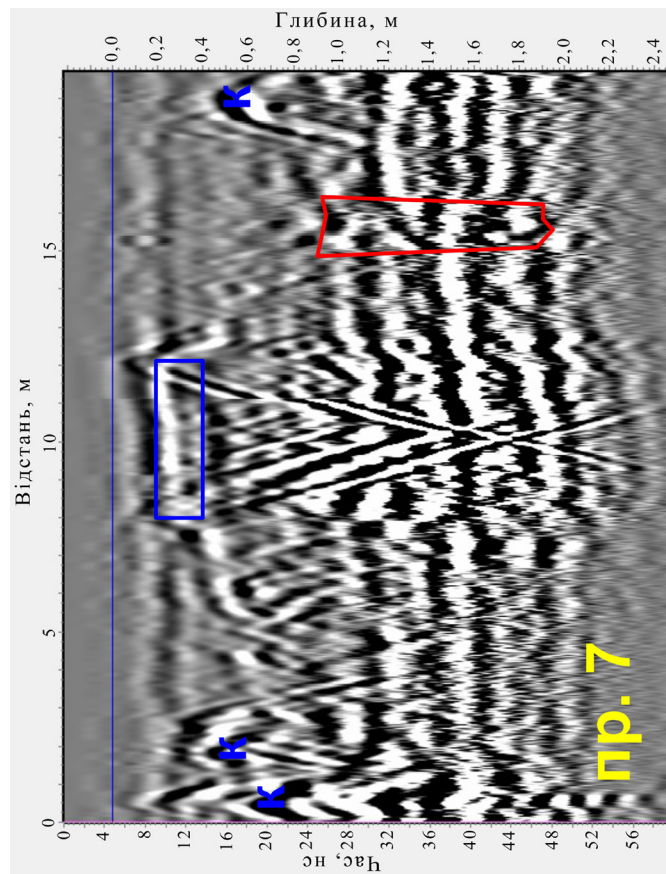
На профілі 5 вони зафіксовані в розкопі на глибині 0,45–0,55 м в інтервалах 17,7–18,9 та 23,8–29,1 м (від початку профілю), а на профілі 6 – в інтервалі 17,7–18,2 м; глибина до фундаменту становить 0,5 м від сучасної денної поверхні. На радарограмах виділено не лише лінії синфазності електромагнітного сигналу, що відповідають верхній кромці глинистої



a



b



б

Рис. 3. Радарограми вздовж профілів 5 (a), 6 (б) і 7 (в) на ділянці біля брами Заборовського з елементами інтерпретації

Fig. 3. The radarograms with interpretation features along the lines 5 (a), 6 (b) and 7 (c) near Zaborovsky gate

консерваційної засипки фундаментів, а й аномалії від поверхні і основи самих мурувань. Це дає змогу встановити потужність давніх фундаментів за даними георадарних спостережень.

Профіль 7 перетинає сучасну паркову доріжку, мостіння поверхні якої добре видно на радарограмі (рис. 3, в). На цьому профілі спостерігається аномальна зона на місці фундаменту церкви XI ст. у фундаментному рові.

Слід зазначити, що внаслідок інтенсивного затухання у зволоженому середовищі електромагнітний сигнал з частотою 300 МГц не проникає глибше 2 м, що унеможливає фіксацію у такий спосіб печерних споруд, закладених на більших глибинах (понад 3 м).

Ділянку 2 у попередні часи також частково досліджено археологами. Зокрема, на північний захід від собору у 1916, 1925 та 1970-х роках було розкопано фрагмент печерної споруди пізньосередньовічного льоху, викопаного у материковому лесі на глибині 2,5–3,0 м від сучасної денної поверхні (склепіння). Західніше від неї у 1970-х роках було досліджено ще одну аналогічну печерну споруду на глибині 2,5–5,0 м від сучасної денної поверхні. Не виключено, що вона була пов'язана з розкопаними у 1939 р. цегляними підмурками дерев'яних келій Софійського монастиря XVII ст. На окремих ділянках зазначені підземелля були укріплені цегляною кладкою. У 2015 р. по трасі одного з них сталися просідання ґрунту, а також трапився провал.

Крім того, на цій території в результаті розкопок 1946 р. було відкрито залишки цегляної лазні XII ст., від якої лишилися фундаменти на глибині

0,7–1,0 м від сучасної денної поверхні, а шурфуванням 2013 р. досліджено рештки давньоруської садибної забудови. Стратиграфічні спостереження дають змогу стверджувати, що материковий лесовий супісок на цій території залягає на глибині близько 2 м від сучасної денної поверхні і перекритий гумусними нашаруваннями, змішаними з будівельним сміттям.

На цій ділянці геофізичні дослідження 2015 р. проведено уздовж 5 профілів. Усі вони перетинають велику кількість сучасних комунікацій, які залягають на глибині 0,3–0,9 м.

На профілі 2 (рис. 4, а) в інтервалі 32,5–35,5 м (від початку профілю) наявна похила смуга синфазності на глибинах 1,1–1,7 м; її топографічне положення збігається з розташуванням відомої печерної споруди. Не виключено, що цю аномалію може створювати вивальний купол розташованого нижче підземелля, хоча слід зазначити, що печери, які знаходяться ближче до будівлі Братського корпусу, не проявлені на радарограмі.

На профілі 3 (рис. 4 б) в інтервалі 12,8–8,0 м (від початку профілю) на глибині 1,0 м від сучасної денної поверхні зафіксовано об'єкт, подібний до давнього фундаменту. Передбачається, що на цій території можуть бути збережені фундаменти огорожі садиби Софійського собору XI ст., а також залишки Митрополичого палацу давньоруської доби.

Внаслідок інтенсивного затухання електромагнітного сигналу з частотою 300 МГц у зволоженому лесовому супіску на обох ділянках не вдалося зафіксувати слідів об'єктів, що залягають глибше 2 м.

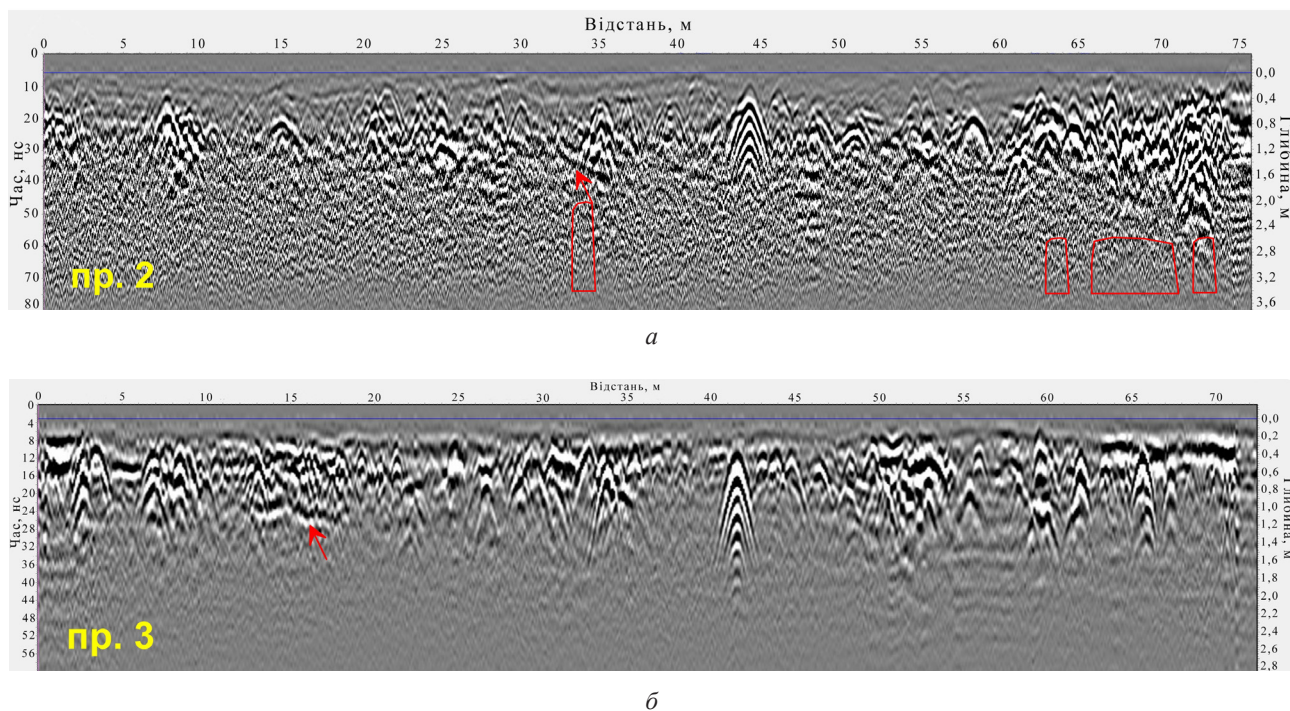


Рис. 4. Радарограми уздовж профілів 2 (а) і 3 (б) на ділянці біля Братського корпусу з елементами інтерпретації
Fig. 4. The radargrams with interpretation features along the lines 2 (a) and 3 (b) near Bratsky housing

На хвильових розрізах також немає аномалій від розкопів 1916 та 1946 рр.; імовірно, це пов'язане із слабким контрастом електрофізичних властивостей перемішаної засипки розкопів і непорушеного культурного шару.

Висновки. За допомогою георадарного методу з використанням приймально-передавальної антени з робочою частотою 300 МГц на території заповідника “Софія Київська” біля брами Заборовського достовірно зафіксовано фундаменти прибудови XI–XII ст. до церкви XI ст., а також фундамент церкви XI ст. у фундаментному рові. При цьому на радарограмах наявні відгуки не тільки від верхньої кромки фундаментів, а й від їх основи.

Заслуговує на увагу той факт, що консерваційна засипка фундаментів (розкоп 2014 р.), яку виконано з піску, ґрунту та глини за 9 міс до спостережень, на радарограмах має вигляд контрастної лінії синфазності електромагнітного сигналу.

Печерні споруди, що розміщуються на ділянках біля Братського корпусу та біля брами Заборовського за археологічними даними, як правило, не відображені на радарограмах, оскільки залягають в інтервалі глибин 2,5–5 м від сучасної денної поверхні. Такої глибини зондування не вдалося досягти за допомогою приладу VIY-2 у зволжених супісках та лесі через високий ступінь затухання сигналу. На ділянці біля Братського корпусу зафіксовано аномалію, яка може бути пов'язана з вивальним куполом печерної споруди. Всі види сучасних комунікацій (водогін, каналізація, полив, електрокабелі) добре виражені на радарограмах і відповідають локалізації за генеральним планом території заповідника.

Таким чином, георадар з робочою частотою 300 МГц є ефективним у разі пошуків давніх фундаментів в інтервалі глибин до 2 м. Для пошуків більш заглиблених об'єктів, у тому числі печерних споруд, рекомендується застосувати прилади з нижчою робочою частотою.

1. *Борисов А.А.* Исследование подземных объектов и сооружений на внешней и внутренней территории Успенского собора Киево-Печерской лавры методом дистанционного электромагнитного зондирования: (отчет по НИР). Текст / А.А. Борисов и др. — К.: НИП Диаскарб, 1998. — 154 с.
2. *Левашов С.П.* Геофізичні дослідження інженерно-геологічних та гідрологічних умов на території

Софійського собору в Києві // Геоінформатика. — 2004. — № 1. — С. 32–35.

3. *Левашов С.П.* Геофізичні дослідження на території Звіринських печер м. Київ // Геоінформатика. — 2004. — № 2. — С. 75–77.
4. *Рыбин В.Ф.* Проблемы инженерной защиты территории Национального заповедника “София Киевская” от подтопления / В.Ф. Рыбин, А.С. Скальский, Н.Н. Молочкова // VII Міжнарод. наук.-практ. конф. Софійські читання “До 90-річчя від дня народження відомого дослідника пам'яток Національного заповідника “Софія Київська”, д.і.н. Сергія Олександровича Висоцького”: матеріали. — К., 2015. — Вип. 7. — С. 487–494.
5. *Старостенко В.И.* Проблемы сохранения архитектурного наследия исторического центра Киева в условиях возрастающего эколого-техногенного риска / В.И. Старостенко, А.Е. Антонюк, М.Г. Демчишин, А.П. Дышлык, А.В. Кендзера, П.И. Кривошеев, С.П. Левашов, В.И. Лялько, Ю.А. Маслов, И.В. Матвеев, А.Г. Мычак, В.Д. Омельченко, Н.И. Орленко, В.Ф. Рыбин, Ю.С. Слюсаренко, Н.Х. Соковнина, О.М. Терemenko // Геофизический журнал. — 2011. — Т. 33, № 6. — С. 3–14.
6. *Старостенко В.И.* Национальный заповедник “София Киевская”: геолого-геофизический мониторинг и его результаты / В.И. Старостенко, В.Ф. Рыбин, С.П. Джепо, С.Т. Звольский, А.В. Кендзера, Е.А. Кожан, И.Н. Корчагин, В.В. Кулик, С.П. Левашов, В.Д. Омельченко, А.С. Скальский, Г.И. Черный, М.С. Бондаренко, В.А. Ситникова // Геофизический журнал. — 2005. — Т. 27, № 3. — С. 335–368.
7. *Старостенко В.И.* Памятники Киево-Печерской лавры: геолого-геофизические наблюдения и использование их результатов для сохранения заповедника / В.И. Старостенко, В.Ф. Рыбин, С.Т. Звольский, И.Н. Корчагин, С.П. Левашов, И.А. Черевко, Г.И. Черный, В.А. Куцыба, А.Ю. Кетов // Геофизический журнал. — 2006. — Т. 28, № 6. — С. 3–28.
8. *Baker G.S.* Near-surface imaging using coincident seismic and GPR data / G.S. Baker, D.W. Steeples, C. Schmeissner, M. Pavlovic, R. Plumb // Geophysical Research Letters. — 2001. — V. 28, iss. 4. — P. 627–630.
9. *Conyers L.B.* Ground-penetrating radar: an introduction for archaeologists / L.B. Conyers, D. Goodman. — Walnut Creek, CA: AltaMira Press. — 1997. — 232 p.
10. *Davis J.L.* Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy / J.L. Davis, A.P. Annan // Geophysical Prospecting. — 1989. — V. 37, iss. 5. — P. 531–551.
11. *Campana S.* Seeing the unseen geophysical and landscape archaeology / Eds S. Campana, S. Piro. — London: CRC Press, 2009. — 376 p.

Надійшла до редакції 16.06.2016 р.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОРАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЗАПОВЕДНИКА “СОФИЯ КИЕВСКАЯ” ДЛЯ РЕШЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

К.М. Бондарь¹, Т.А. Бобровский², И.В. Цюпа¹

¹УНИ “Институт геологии” Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина, e-mail: ks_bondar@ukr.net, tsyupa@ukr.net

²Национальный заповедник “София Киевская”, ул. Владимирская, 24, г. Киев, 01001, Украина,
e-mail: bobrovskij@ukr.net

Работа посвящена изучению эффективности георадарных исследований с помощью прибора VIY-2 (Transient technologies, Украина) с рабочей частотой антенны 300 МГц для обнаружения пустот и остатков захороненных фундаментов на территории Национального заповедника “София Киевская”. На участке возле брамы Заборовского достоверно фиксируются фундаменты пристройки XI–XII в. к церкви XI в., а также, в отдельном случае, фундамент церкви XI в. в фундаментном рве. При этом на радарограммах есть отклики не только от верхней кромки фундаментов, но и от их основания. Четко видна и консервационная засыпка фундаментов, выполненная из песка, грунта и глины за 9 мес до съемки. Пещерные сооружения, имеющиеся на участках по археологическим данным, не отображены на радарограммах, поскольку залегают на глубине 2,5–5 м. Такой глубины зондирования не удалось достичь при рабочей частоте прибора 300 МГц в увлажненном суглинке вследствие высокой степени затухания сигнала.

Ключевые слова: георадарный метод, археологический объект, фундамент, пещерное сооружение, лёсс.

EFFICIENCY OF GPR SURVEY FOR ARCHAEOLOGICAL TARGETS DETECTION IN THE NATIONAL CONSERVATION AREA OF “ST. SOPHIA OF KYIV”

K. Bondar¹, T. Bobrovskiy², I. Tsiupa¹

¹ESI “Institute of geology” National Taras Shevchenko University of Kyiv, 90, Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,
e-mail: ks_bondar@ukr.net, tsyupa@ukr.net

²The National Conservation Area of “St. Sophia of Kyiv”, 24, Volodymyrska Str., Kyiv, 01001, Ukraine, e-mail:
bobrovskij@ukr.net

Purpose and methodology. The study is aimed at evaluating ground penetrating radar (GPR) survey, employing 300 MHz antenna equipment as a tool for detection of old foundations and cave constructions on the territory of the National Conservation Area of “St. Sophia of Kyiv”. Field measurements were carried out on two polygons previously studied with archaeological excavations.

Findings. The remains of the old foundations of annex from XI-XII cent. built to adjoin the main church building from XI cent. are clearly detected on GPR images measured on polygon near Zaborovski gate. We registered the feedback not only from the top edge of the foundations, but also from their base. In some cases, the foundation of the XI cent. church in the foundation trench is also visible. The conservation backfilling of foundations made of sand, soil and clay in the nine months before measurements forms legible anomalous features. The existing old cave constructions could not be recognized from 300 MHz GPR images as they lie in the depth range of 2,5–5 m. Such a depth could not be reached due to a signal attenuation effect in wet loess.

Practical value/implications. We can conclude that GPR survey with 300 MHz equipment can be applied to detect old foundations lying not deeper than 2 m. Searching for cave constructions should be done at a lower frequency.

Keywords: GPR, archaeological object, foundation, cave construction, loess.

References:

1. Borisov A.A. Issledovanie podzemnykh ob'ektov i sooruzheniy na vneshney i vnutrenney territorii Uspenskogo sobora Kievo-Pecherskoy lavry metodom distantsionnogo elektromagnitnogo zondirovaniya: otchet po NIR. Kiev: NIP Diaskarb, 1998, 154 p. (in Russian).
2. Levashov S.P. Heofizychni doslidzhennia inzhenerno-heolohichnykh ta hidrolohichnykh umov na terytorii Sofiiskoho soboru v Kyievi. *Geoinformatika*, 2004, issue 1, pp. 32–35 (in Ukrainian).
3. Levashov S.P. Heofizychni doslidzhennia na terytorii Zvyrnetskykh pecher m. Kyiv. *Geoinformatika*, 2004, issue 2, pp. 75–77 (in Ukrainian).
4. Rybin V.F., Skal'skiy A.S., Molochkova N.N. Problemy inzhenernoy zashchity territorii Natsional'nogo zapovednika “Sofiia Kievskaya” ot podtopleniya. Materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktuchna konferentsiya. Sofiiski chytannia “Do 90-richchia vid dnia narodzhennia vidomoho doslidnyka pamiatok Natsionalnoho zapovidnyka “Sofiia Kyivska”, d.i.n. Serhiia Oleksandrovycha Vysotskoho”: materialy. Kyiv, 2015, vol. 7, pp. 487–494 (in Russian).
5. Starostenko V.I., Antonyuk A.E., Demchyshyn M.G., Dyshlyk A.P., Kendzera A.V., Krivosheev P.I., Levashov S.P.,

- Lyalko V.I., Maslov Yu.A., Matveev I.V., Mychak A.G., Omelchenko V.D., Orlenko N.I., Rybin V.F., Slusarenko Yu.S., Sokovnina N.H., Teremenko O.M. Problems of preservation of architectural heritage of Kiev historical center under conditions of growing ecological-technogenic risk. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2011, vol. 33, no. 6, pp. 3-14. (in Russian).
6. Starostenko V.I., Rybin V.F., Jepo S.P., Zvol'skiy S.T., Kendzera A.B., Kozhan E.A., Korchagin I.N., Kulik V.V., Levashov S.P., Omelchenko V.D., Skalckiy A.S., Chernyi G.I., Bondarenko M.S., Sytnikova V.A. National reserve "Sofiya Kievskaya": geological-geophysical monitoring and its results. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2005, vol. 27, no. 3, pp. 335-368. (in Russian).
 7. Starostenko V.I., Rybin V.F., Zvol'skiy S.T., Korchagin I.N., Levashov S.P., Cherevko I.A., Chernyi G.I., Kutsyba V.A., Ketov A.Yu. Memorials of the Kiev-Pechersk Lavra: geological-geophysical observations and application of their results for preservation of the reserve. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2006, vol. 28, no. 6, pp. 3-28. (in Russian).
 8. Baker G.S., Steeples D.W., Schmeissner C., Pavlovic M., Plumb R. Near-surface imaging using coincident seismic and GPR data. *Geophysical Research Letters*, 2001, vol. 28, iss. 4, pp. 627-630.
 9. Conyers L.B., Goodman D. Ground-penetrating radar: an introduction for archaeologists. Walnut Creek, California, AltaMira Press, 1997, 232 p.
 10. Davis J.L., Annan A.P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 1989, vol. 37, iss. 5, pp. 531-551.
 11. Campana S., Piro S. Seeing the unseen geophysical and landscape archaeology. London, CRC Press, 2009, 376 p.

Received 16/06/2016