КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

УДК 550.8 https://doi.org/10.5281/zenodo.20786556

Яротов А.Е.[1, 2], Вихарев Н.Г.[3], Куприянюк К.В.[4], Лукашёв О.В.[3], Пейхвассер В.Н.[3]

[1]Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Минск, Беларусь
[2]ОО «Белорусское географическое общество», Минск, Беларусь
[3]Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
[4]ООО «Геоэкопроект», Минск, Беларусь

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОРАДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. *В статье рассматривается опыт внедрения технологии георадарного зондирования в практику исследований объектов историко-культурного наследия на примере изысканий на территории не сохранившихся до наших дней доминиканского монастыря и костёла святого Казимира XVII века в городе Столбцы с целью выявления их погребённых остатков, а также изысканий на территории руин Кревского замка с целью выявления ранее неизвестных остатков сооружений на его территории. Результатом данных работ стало обнаружение останков Фабиана Малишевского (значимой для Беларуси духовной фигуры) в Столбцах и открытие фундаментов ранее неизвестных сооружений в Кревском замке. Кратко приведена методика применения данной технологии. Рассмотрены полученные в результате изысканий результаты, сделаны выводы об эффективности, преимуществах и недостатках применения технологии георадарного зондирования в данном направлении. Сделаны выводы о перспективах дальнейшего применения и совершенствования данной технологии.*

Ключевые слова: *георадиолокационное зондирование, георадар, геофизические исследования, интерпретация результатов зондирования, объекты историко-культурного наследия, археология, археологическая геофизика, неинвазивные методы.*

Yarotau A.[1,2], Vikharau M.[3], Kupryianiuk K.[4], Lukashov O.[3], Peykhvasser V.[3]

[1] National Ozone Monitoring Research Center Belarus State University, Minsk, Belarus
[2] Public Association Belarusian Geographical Society, Minsk, Belarus
[2] Belarusian state university, Minsk, Belarus
[3] LLC “Geoekoprojekt”, Minsk, Belarus

EXPERIENCE OF APPLYING GROUND PENETRATING RADAR IN THE RESEARCH OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE SITES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract. *The article discusses the experience of implementing ground penetrating radar in the practice of research of historical and cultural heritage sites on the example of surveys on the territory of the Dominican monastery and the 17th-century Church of St. Casimir, which have not survived to this day, in the town of Stolbtsy, in order to identify its buried underground remains, as well as surveys on the territory of the ruins of the Krevsky Castle, in order to identify previously unknown remains of structures on its territory. The result of these works was the discovery of the remains of Fabian Malishevsky (a significant spiritual figure for Belarus) in Stolbtsy and the discovery of the foundations*

of previously unknown structures in Krevsky Castle. The article briefly describes the methodology for using this technology. The results of the research are reviewed, and conclusions are drawn about the effectiveness, advantages, and disadvantages of using ground penetrating radar for such purposes. Conclusions are drawn about the prospects for further application and improvement of this technology.
Key words: *ground penetrating radar, geophysical research, interpretation of surveying results, historical and cultural heritage sites, archaeology, archaeological geophysics non-invasive methods*.

Введение и постановка проблемы. В настоящее время не существует такого геофизического метода исследований, который позволил бы гарантированно при любых условиях получать исчерпывающие данные о строении приповерхностной части геологической среды, что требуется не только при проведении инженерных изысканий, но и в других отраслях науки, в том числе, в археологии.

Однако зачастую непосредственное детальное исследование посредством сплошных раскопов или бурения скважин является дорогим или же вовсе невозможным по тем или иным причинам (плотная городская застройка и т.п.). Также необходимо понимать, что такого рода исследования в любом случае нарушают сохранность изучаемого объекта. Геофизические же исследования являются неинвазивными, то есть как правило не влияют на сохранность археологических объектов. Их использование позволяет получить часть информации без непосредственного вмешательства в среду, а даже в случае необходимости такового позволяет значительно его оптимизировать путём выделения наиболее перспективных участков. В связи с этим крайне востребованным является развитие комплекса взаимодополняющих методов геофизического изучения грунтов, одним из которых является георадиолокация.

Георадиолокация — геофизический метод, использующий электромагнитное поле для определения неоднородностей в диэлектрической проницаемости геологической среды с целью выделения объектов и структур [10].

Радиолокация в грунте имеет значительные отличия от зондирования в воздушной среде, вызванные большой разницей в геофизических характеристиках данных сред [13]. Поэтому георадиолокация давно обособилась в отдельную область радиофизики [6]. Стремительное совершенствование вычислительной техники дало существенный импульс развитию георадиолокации, т.к. современные компьютеры позволяют намного быстрее и качественнее обрабатывать получаемые результаты, а также используются для их мгновенной визуализации.

Указанный метод уже успел найти широкое применение в инженерной геологии и экологическом мониторинге, что обусловлено его неоспоримыми преимуществами, такими как высокая скорость проведения работ, их дешевизна и простота, высокая мобильность, компактность, а также неинвазивный характер исследований. Однако есть у данного метода и серьёзные недостатки, основными из которых являются не самый широкий диапазон применения (георадары малоэффективны при работе на влажных глинистых грунтах или при наличии помех), а также сложная, неоднозначная интерпретация полученных результатов, требующая от специалиста глубоких теоретических знаний и большого практического опыта работы [1].

Несмотря на всё вышесказанное, георадиолокация на сегодняшний день в изучении объектов историко-культурного наследия в Республике Беларуси используется всё ещё довольно ограниченно. Дальнейшее внедрение и совершенствование данного метода является проблемой, поставленной в этой работе.

Изученность проблемы. Принципиальная возможность применения радиофизических методов в геологических исследованиях была известна ещё в начале прошлого века, однако ввиду недостаточного развития промышленности и технологий и, главное, отсутствия достаточных вычислительных мощностей, технология георадиолокации не имела широкого распространения и почти не развивалась вплоть до

конца 1960-х годов, когда одновременно, и в Советском Союзе, и в западных странах началось параллельное развитие данного метода в связи с его внедрением в исследования Арктики и Антарктики (данный метод позволил быстро и дешево определять мощность ледяного покрова) [14]. Одним из основоположников развития данного метода в Советском Союзе стал профессор М.И. Финкельштейн [5].

Какое-то время данная технология не могла получить массового распространения ввиду отсутствия достаточно мощных вычислительных устройств для обработки получаемых данных. Однако уже в 1980-е годы стали появляться первые серийные модели [5], а в 1990-е произошла настоящая революция, связанная с появлением намного более доступных компьютеров [11]. С тех пор область применения георадаров значительно расширилась. На сегодняшний день технология сохраняет свою популярность и продолжает совершенствоваться.

Если говорить о применении георадара в археологических исследованиях, то одной из первых попыток его внедрения были исследования американских исследователей Викерса и Долфина в каньоне Чако, Нью-Мексико, США [12]. Первые попытки сопровождались определёнными сложностями, однако тем не менее дали результаты и тем самым показали принципиальную возможность применения георадиолокации в археологии и необходимость её дальнейшего совершенствования. На сегодняшний день это дало результаты и георадарная съёмка активно используется во всём мире [15, 17].

На территории стран СНГ, однако, данный метод по-прежнему крайне ограниченно применяется в изучении объектов историко-культурного наследия. Одним из примеров его эффективного применения в данном регионе стали исследования, проведённые специалистами Российской Академии наук на территории крепости Узундара – археологического памятника в Узбекистане [2]. Для Республики Беларусь одна из первых попыток внедрения данного инновационного метода в практику изучения историко-культурного наследия изложена в статье [1].

Объект исследования – практика исследования объектов историко-культурного наследия.

Предмет исследования – технология георадарного зондирования: методика, эффективность, преимущества и недостатки, перспективы дальнейшего применения.

Цель и задачи работы. Основной целью данной работы является способствование дальнейшему внедрению технологии георадарного зондирования в практику изучения объектов историко-культурного наследия.

Для её достижения были поставлены следующие задачи: рассмотреть опыт применения георадара на примере его передового использования в изысканиях, проведённых в последние годы в Республике Беларусь; сделать выводы об эффективности и дальнейших перспективах применения метода.

Материалы и методы. Методика использования георадара основывается на явлении отражения электромагнитных волн от границ, на которых скачкообразно изменяются электромагнитные свойства материи. Излучаемые георадаром электромагнитные импульсы, распространяясь в обследуемой среде, отражаются от находящихся там объектов, границ слоев грунта, принимаются антенной, усиливаются, преобразуются в цифровой вид, обрабатываются компьютером, где далее информация об обнаруженном объекте визуализируется на мониторе. Протяжённые объекты или границу между разными по свойствам слоями оператор видит как выделяющуюся линию на радарограмме (рис. 1), точечный же объект, ввиду особенностей распространения радиоволн, будет представлен перевёрнутой параболой на профиле (рис. 2).

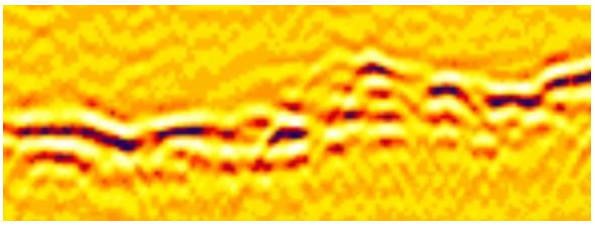


Рис. 1. Граница раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью

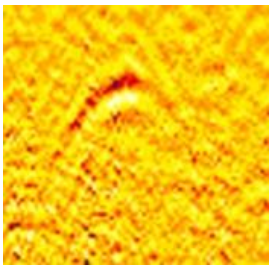


Рис. 2. Пример точечного отражающего объекта на радарограмме

Процесс проведения изысканий можно разделить на три этапа. Первый этап – подготовительный, заключается в изучении имеющейся архивной информации по объекту, визуальной рекогносцировке с целью выяснения особенностей территории, подготовке площадки к проведению зондирования и выносе в натуру линий профилей. Второй этап – непосредственно зондирование. Уже на данном этапе исследователь видит предварительные результаты на мониторе и, исходя из них, возможно внесение корректировок в схему проведения съёмки. Финальный этап – камеральная обработка полученных результатов – заключается в анализе полученных данных, составлении итоговой схемы и отчёта о результатах проделанной работы.

Работы, о которых далее пойдёт речь, были выполнены георадаром USRadar Q5 Series GPR System [16] с частотой антенны 500 МГц. Частота антенны и особенности исследуемой среды обусловили эффективную глубину зондирования до 3 м в обоих случаях, которой хватило для обнаружения искомых объектов. Однако при более благоприятной геофизической обстановке и детальной калибровке антенны глубину исследования можно увеличить до 5 м. Разрешающая способность антенны зависит от длины волны, и для данной антенны составляет около 0,15 м.

Результаты и их обсуждение. Начнём рассмотрение результатов с изысканий на территории бывшего доминиканского монастыря и костёла святого Казимира в городе Столбцы Минской области в октябре 2021 г.

На первом этапе было выявлено, что площадка исследований представляет собой хорошо фиксируемую в рельефе возвышенность, крутизна склонов которой максимальна на юго-восточной границе, склоны закреплены почвенно-растительным грунтом частично: встречаются обнажения грунта с характерными включениями керамического кирпича. На западной стороне уклон более пологий, спланирован в ходе организации рельефа вдоль улицы, уклон имеет сплошной почвенно-растительный покров.

На момент проведения изысканий площадку занимает футбольное поле с размерами 48 на 27 метров (внутренние размеры), окружённое асфальтной беговой дорожкой.

Согласно имеющейся исторической информации (фотографии), высота имеющейся возвышенности была несущественно ниже существующей отметки (от 0,3 до 0,5 м) до сноса костела в 1950-ых годах (рис. 3).

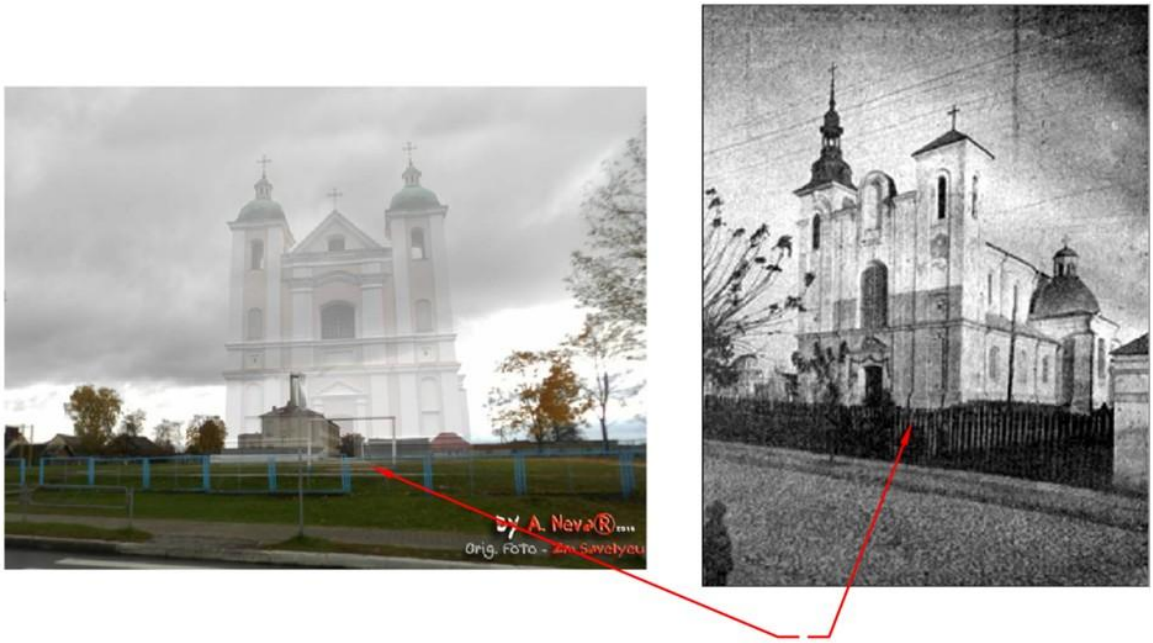


Рис. 3. Сравнение современной (слева) и сделанной в 1930-х годах (справа) фотографий [8]

В ходе рекогносцировки на поверхности земли не было обнаружено элементов фундамента. В результате георадарных обследований было выполнено 33 поперечных профиля (рис. 4-5). Учитывая предположение, что текущая отметка рельефа выше ранее существующей, обработка сигналов, учет их интенсивности велся с глубины 0,5 м.

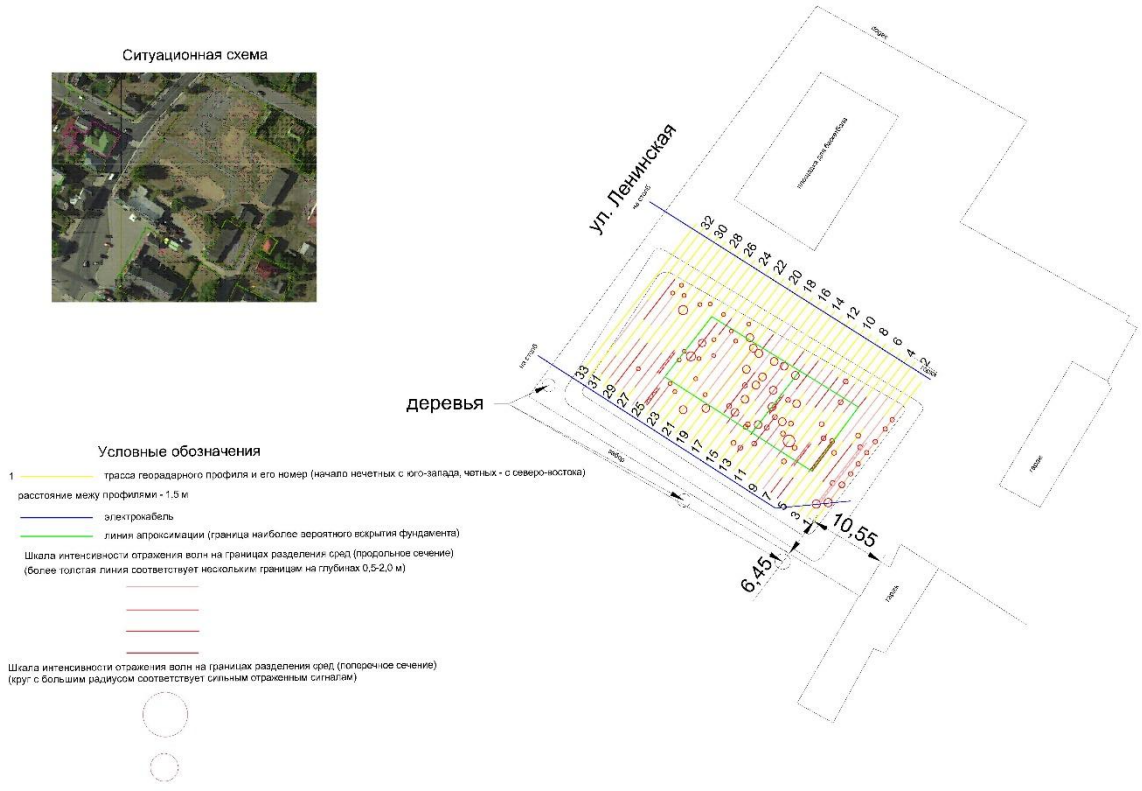


Рис. 4. Схема проведения работ с нанесёнными на неё неоднородностями, зафиксированными на профилях [8]

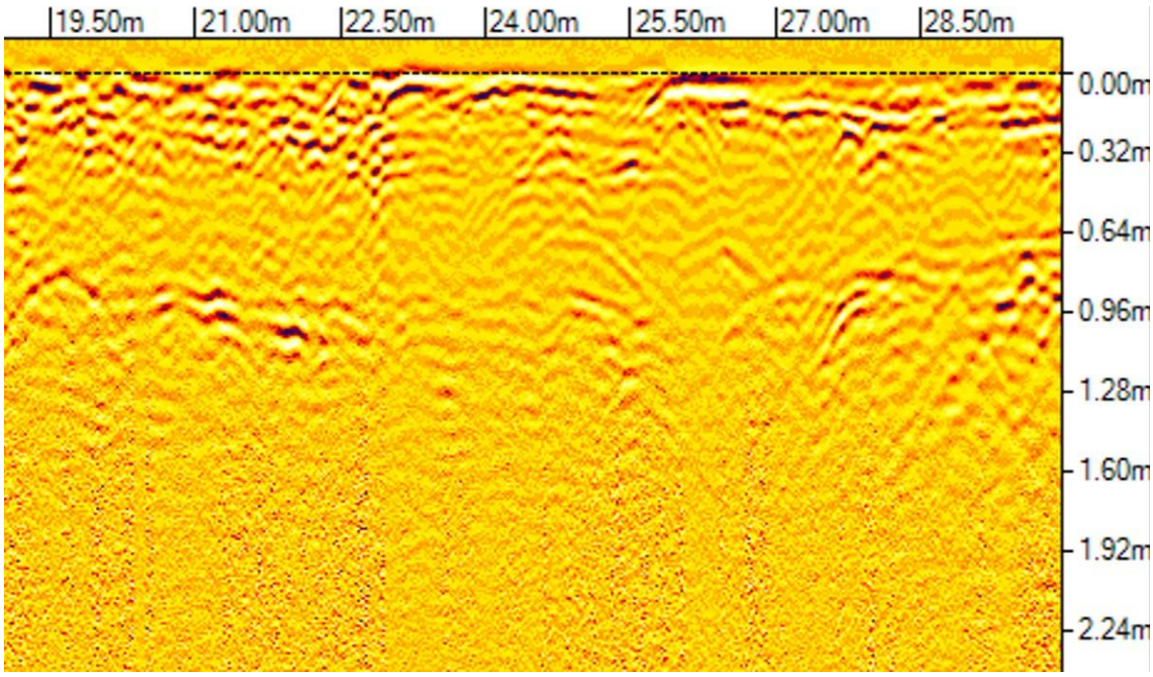


Рис. 5. Фрагмент профиля 15 с зафиксированными на нём неоднородностями [8]

По итогу камеральной обработки была составлена схема (рис. 4), вынос неоднородностей на которую не позволил обнаружить целостный монолитный фундамент. Этот факт привел авторов к выводу о том, что скорее всего до нашего времени сохранились лишь фрагменты фундамента. В целом же по месту наибольшей концентрации неоднородностей был выделен участок, наиболее перспективный для проведения последующих работ.

В результате проведённых далее раскопок, во многом основанных на данных, полученных в результате георадарной съёмки, было совершено открытие – обнаружены останки, которые по результату междисциплинарной экспертизы принадлежат Фабиану Малишевскому – первому доминиканскому приору в Столбцах, основателю костёла святого Казимира [4, 7]. Фигура Малишевского занимает центральное место в региональном духовном контексте благодаря многовековой традиции почитания, сформировавшейся еще в XVII веке.

Обнаружение останков осенью 2021 года и их последующая верификация стали результатом интеграции архивных данных с методами современной междисциплинарной экспертизы. Уникальность данного события заключается в научно обоснованном подтверждении подлинности мощей: судебно-экспертные исследования Следственного комитета позволили провести графическую реконструкцию прижизненного облика, подтвердить генотип и соотнести результаты радиоуглеродного анализа с хронологией жизни Малишевского. Возвращение исторического участка земли католическому приходу и торжественное перезахоронение останков в декабре 2022 года в новом храме святого Казимира символизируют восстановление культурной преемственности и выступают примером конструктивного взаимодействия между государственными институтами и религиозными организациями в вопросах сохранения национального исторического наследия.

Таким образом, георадарное обследование упростило археологические раскопки, сузив область поиска, и по итогу привело к значимому для социокультурного ландшафта Беларуси событию.

В Кревском замке (агрогородок Крево, Сморгонский район Гродненской области) были проведены два этапа геофизических исследований: в 2022 и 2025 годах. В первом случае изучению подлежал значительно меньший участок, расположенный в восточном

углу укрепления (рис. 6). Работы проводились в рамках комплекса археологических и консервационных работ. В результате георадарной съёмки было выполнено 9 профилей, на которых отчётливо просматривался вытянутый объект (рис. 7), составленный из близкорасположенных точечных неоднородностей, который был интерпретирован как сложенная из валунов стена.

В следующий сезон на обследованном участке с учётом полученной информации был заложен раскоп, который подтвердил правильность проведённой ранее интерпретации – были вскрыты участки стен ранее неизвестных сооружений, предварительно датированных XIV-XV веками [3].

Таким образом, георадарное зондирование позволило выявить ранее неизвестный археологический объект и тем самым обосновать проведение археологических раскопок, открывших остатки ранее неизвестных сооружений, что значительно корректирует современные представления об архитектурной истории объекта.

Второй этап изысканий, проведённый в 2025 году, покрывал прилегающую к юго-западной стене территорию и был значительно большим по площади (рис. 8). Задачей изысканий стал поиск остатков галереи, которая по предположению археологов могла протянуться с внутренней стороны вдоль внешней стены замка.

При проведении второго этапа в дополнение к георадару USRadar был привлечён георадар «ОКО-3» [9] с антенной частотой 100 МГц, что обусловило большую глубину зондирования, однако с меньшей разрешающей способностью.

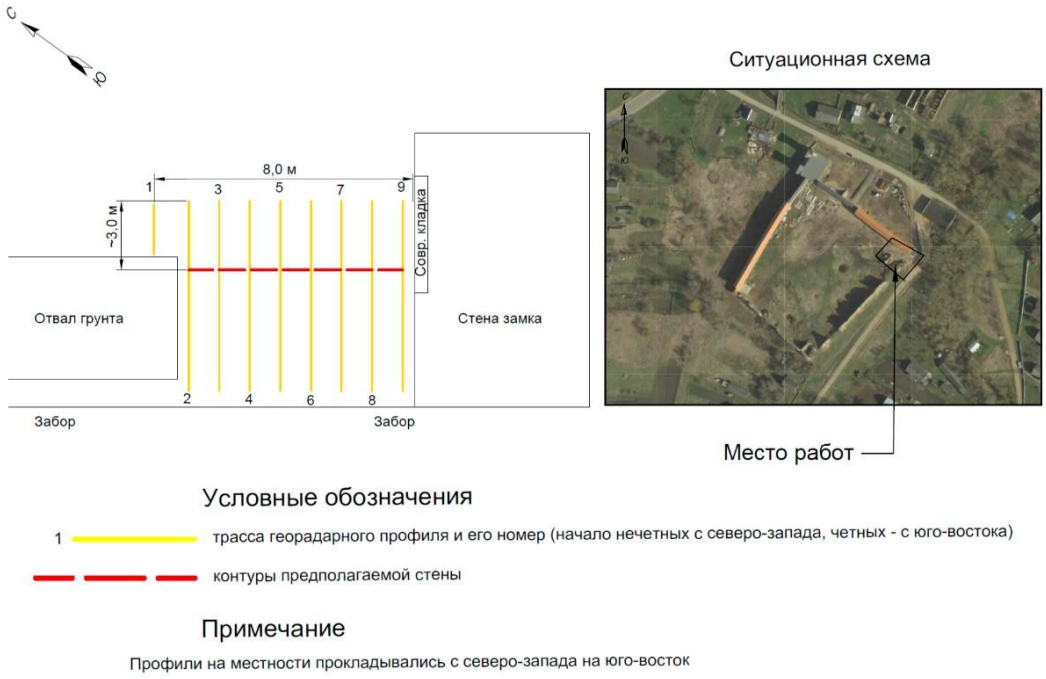


Рис. 6. Схема проведения работ на первом этапе изысканий в Кревском замке [3]

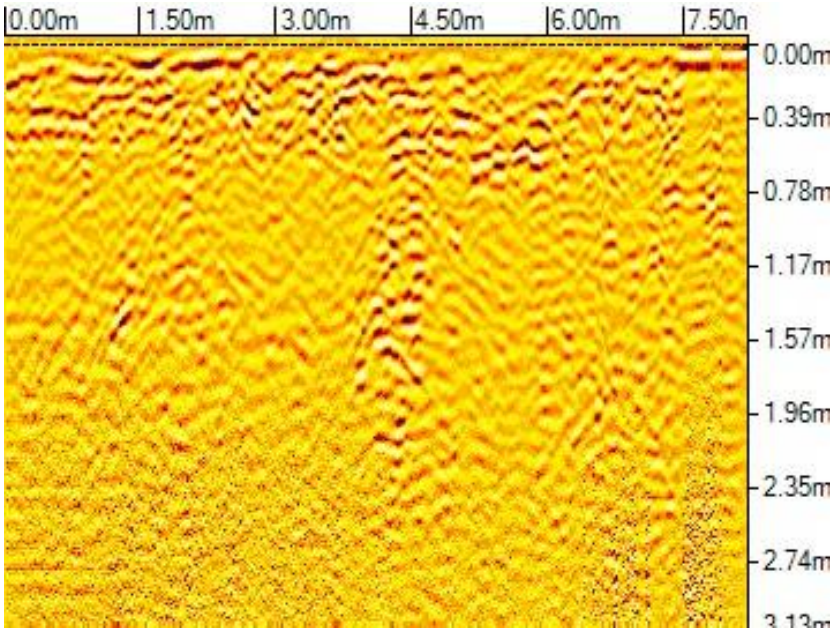


Рис. 7. Профиль 2 с расположенными по центру остатками стены (вертикально вытянутое скопление аномалий) [3]

К сожалению, второй этап изысканий сопровождался значительными трудностями: участок изысканий не был в достаточной степени спланирован, а неблагоприятные погодные условия обусловили высокую влажность грунта, что серьёзно уменьшило глубину эффективного зондирования. По этим причинам изыскания привели лишь к выявлению ряда неоднородностей, из которых однозначно удалось интерпретировать лишь железобетонные конструкции времён первой мировой войны в северной части профиля 1-2, т.к. их приблизительное местоположение было известно ранее. Остальные же неоднородности ясной для понимания картины не дают, однако являются хорошим обоснованием для проведения дальнейших археологических работ на данном участке.

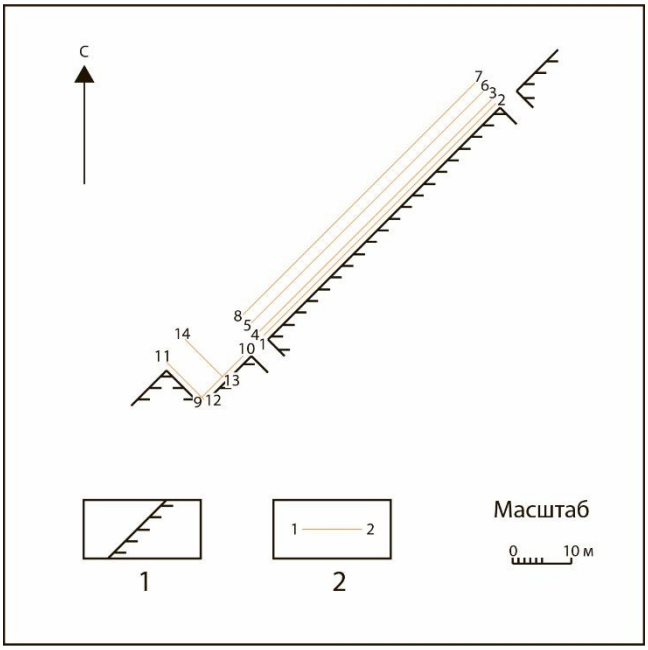


Рис. 8. Схема проведения работ на втором этапе изысканий в Кревском замке: 1 – контуры стен, 2 – георадарные профили

Выводы. Практический опыт применения георадарного зондирования на объектах историко-культурного наследия Беларуси подтвердил научную ценность метода как инструмента прецизионной локализации скрытых структур. В ходе изысканий на территории бывшего доминиканского монастыря в городе Столбцы именно использование георадара обеспечило переход от гипотетического поиска к точному позиционированию аномалий, что стало определяющим фактором в обнаружении останков Фабиана Малишевского — события исключительной значимости для духовного и культурного контекста страны.

Аналогичные результаты были достигнуты в Кревском замке, где неинвазивная идентификация линейных неоднородностей позволила с высокой точностью вскрыть фундаменты ранее неизвестных сооружений, предварительно датированных XIV–XV веками, тем самым внеся фундаментальные коррективы в научные представления об архитектурной эволюции этого фортификационного объекта. Главное преимущество георадарной съемки в данных исследованиях выразилось в радикальной оптимизации археологического процесса: замена масштабных сплошных раскопов точечным, научно обоснованным вмешательством позволила совершить крупные открытия при максимальном сохранении целостности культурного слоя. Таким образом, интеграция метода в комплекс изысканий обеспечила высокую достоверность предварительной интерпретации объектов и доказала свою эффективность как базовой технологии для верификации исторических данных и планирования дальнейших консервационных работ.

Существуют, однако, по-прежнему и некоторые сложности в применении георадарной съемки, иногда сказывающиеся на качестве получаемых результатов. Так, эффективность зондирования оказалась неудовлетворительной в увлажнённых пылевато-глинистых и водонасыщенных песчаных грунтах. Применение георадиолокационного зондирования при таких условиях с использованием диапазона частот 100-500 МГц, следовательно, не рекомендуется. Однако это не отрицает целесообразность его дальнейшего применения, которое в том числе приведёт и к дальнейшему совершенствованию методики.

Использованная литература:

1. Вихарев Н.Г. Новый метод изучения исторических памятников Беларуси // География. 2025. 2 (195). С. 17-22.

2. Двуреченская Н.Д., Двуреченский О.В., Морозов П.А., Гладченков А.А. Георадарные исследования крепости Узундара // Древние памятники, культура и прогресс. Москва: ИА РАН, 2020. С. 62-93.

3. Дзярновіч А.І., Віхараў М.Г., Купрыянюк К.В., Яротаў А.Я. Эксперыментальнае выкарыстанне метада геарадыёлакацыі ў даследваннях Крэускага замка // Наука и инновации. 2024. N 8 (258). С. 72-78.

4. Захаров А.В. В Столбцах перезахоронили останки Фабиана Малишевского, к которым еще в XVIII веке приходили за чудесами // СБ. Беларусь сегодня. 9 дек. 2022. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.sb.by/articles/v-stolbtsakh-perezakhoronili-ostanki-fabiana-mileshevskogo-k-kotorym-eshche-v-xviii-veke-prikhodili-.html. — Дата доступа: 15.04.2026.

5. Ивашов С.И. История исследований, разработки и использования подповерхностных радиолокаторов в СССР и России с 60-х годов по настоящее время. // Материалы XV научно-технической конференции «Радиолокационные системы малой и сверхмалой дальности». Москва, 1 марта 2024 г. С. 248-256.

6. Изюмов С.В. Теория и методы георадиолокации. Москва: Издательство Московского государственного горного университета, 2008. 196 с.

7. Наркевич Г. Лис: для идентификации останков Фабиана Малишевского потребовались уникальные экспертизы // Информационное агентство «Минская правда». 9 дек 2022. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://mlyn.by/09122022/lis-dlya-identifikaczii-ostankov-fabiana-malishevskogo-potrebovalis-unikalnye-ekspertizy/. — Дата доступа: 15.04.2026.

8. Пояснительная записка по георадарному обследованию на территории спортивного стадиона среднеобразовательной средней школы № 2, по адресу: г. Столбцы, ул. Мицкевича 6. Минск: Общественное Объединение «Белорусское Географическое Общество». 2021. 9с.

9. Радиотехнический прибор подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-3»: техническое описание, инструкция по эксплуатации. Раменское: ООО «Логистические Системы». 2021. 42 с.

10. Annan A.P. (2003), *Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications*, Mississauga, 2003. 278 p.

11. Balabin R.V., Volkomirskaya L.B., Gulevich O.A. et al. (2015), Georadar sensing from terrestrial surface and shafts: Approaches to evaluation of rock fracturing, *Physics of Wave Phenomena*, Vol. 23, pp. 143–153.

12. Gidusko K. (2014), *Ground Penetrating Radar: Overview and Applications in Archaeology and Forensic Science with a Focus on Florida*, Orlando, 43 p.

13. Jol H.M. (2009), *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, New York, 544 p.

14. Metelkin V.N., Finkelstein M.I. (1991), Digital Processing by Sea Ice Thickness Measuring. *Proceedings of the IGARSS'91 Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management*, Espoo, FI, June 3-6, pp. 2481-2482.

15. Sato M. et al. (2024), GPR and ERT Exploration in the Western Cemetery in Giza, Egypt, *Archeological Prospection,* No. 31, pp. 187-198.

16. *USRADAR Q5C: Hardware guide* (2015), Morganville, 7 p.

17. Utsi E.C., Colls K.S. (2017), The GPR investigation of the Shakespeare family graves, *Archeological Prospection,* No. 24, pp. 335-352.

References:

1. Vikharau M. (2025), A new method for studying historical monuments in Belarus, *Geography*, No. 2 (195), pp. 17-22. (in Russ.).

2. Dvurechenskaya N.D., Dvurechensky O.V., Morozov P.A., Gladchenkov A.A. (2020), Ground-penetrating radar studies of Uzundara fortress, *Ancient monuments, culture and progress*, Moscow, pp. 62-93. (in Russ.).

3. Dzyarnovich A.I., Vikharau M., Kupriyanuk K.V., Yaratov A.Ya. (2024), Experimental use of ground-penetrating radar method in the studies of Kreusa Castle, *Science and Innovations*, No. 8 (258), pp. 72-78. (in Belarus.).

4. Zakharov A.V. (2022), In Stolbtsy, the remains of Fabian Malishevsky were reburied, to which people came for miracles back in the 18th century, *SB. Belarus Today*, December 9, [Electronic resource]. — Access mode: https://www.sb.by/articles/v-stolbtsakh-perezakhoronili-ostanki-fabiana-mileshevskogo-k-kotorym-eshche-v-xviii-veke-prikhodili-.html. — Access date: April 15, 2026. (in Russ.).

5. Ivashov S.I. (2024), History of research, development and use of subsurface radars in the USSR and Russia from the 60s to the present time, *Procedings of the XV scientific and technical conference "Short and ultra-short range radar systems"*, Moscow, March 1, pp. 248-256. (in Russ.).

6. Izyumov S.V. (2008), *Theory and methods of ground-penetrating radar*, Moscow, 196 p. (in Russ.).

7. Narkevich G. (2022), Lis: unique expertise were required to identify the remains of Fabian Malishevsky, *Information Agency "Minskaya Pravda"*. December 9. [Electronic resource]. — Access mode: http://mlyn.by/09122022/lis-dlya-identifikaczii-ostankov-fabiana-malishevskogo-potrebovalis-unikalnye-ekspertizy/. — Access date: April 15, 2026. (in Russ.).

8. *Explanatory note on GPR survey on the territory of the sports stadium of secondary school* (2022), No. 2, located at Stolbtsy, Mitskevich Street 6, Minsk, 9 p. (in Russ.).

9. *Radio engineering device for subsurface sounding (ground-penetrating radar) "OKO-3": technical description, operation manual* (2021), Ramenskoe, 42 p. (in Russ.).

10. Annan A.P. (2003), *Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications*, Mississauga, 2003. 278 p.

11. Balabin R.V., Volkomirskaya L.B., Gulevich O.A. et al. (2015), Georadar sensing from terrestrial surface and shafts: Approaches to evaluation of rock fracturing, *Physics of Wave Phenomena*, Vol. 23, pp. 143–153.

12. Gidusko K. (2014), *Ground Penetrating Radar: Overview and Applications in Archaeology and Forensic Science with a Focus on Florida*, Orlando, 43 p.

13. Jol H.M. (2009), *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, New York, 544 p.

14. Metelkin V.N., Finkelstein M.I. (1991), Digital Processing by Sea Ice Thickness Measuring. *Proceedings of the IGARSS'91 Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management*, Espoo, FI, June 3-6, pp. 2481-2482.

15. Sato M. et al. (2024), GPR and ERT Exploration in the Western Cemetery in Giza, Egypt, *Archeological Prospection,* No. 31, pp. 187-198.

16. *USRADAR Q5C: Hardware guide* (2015), Morganville, 7 p.

17. Utsi E.C., Colls K.S. (2017), The GPR investigation of the Shakespeare family graves, *Archeological Prospection,* No. 24, pp. 335-352.

Сведения об авторах:

Яротов Алексей Евгеньевич – Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета (Минск, Беларусь), ОО «Белорусское географическое общество» (Минск, Беларусь), кандидат географических наук, доцент. E-mail: yarotau@gmail.com

Вихарев Никита Геннадьевич – Белорусский государственный университет (Минск, Беларусь), студент. E-mail: vikharau.mikita@gmail.com

Куприянюк Константин Витальевич – ООО «Геоэкопроект» (Минск, Беларусь), инженер-геолог, специалист по георадарным системам, E-mail: 7246348@gmail.com

Лукашёв Олег Валентинович – Белорусский государственный университет (Минск, Беларусь), кандидат географических наук, доцент. E-mail: 240660@mail.ru

Пейхвассер Вячеслав Николаевич – Белорусский государственный университет (Минск, Беларусь), старший преподаватель. E-mail: pvasser@bsu.by

Information about authors:

Alexei Yarotau – National Ozone Monitoring Research Center of Belarus State University (Minsk, Belarus), the Public Association «Belarusian Geographical Society» (Minsk, Belarus), PhD in Geography, Associate Professor. E-mail: yarotau@gmail.com

Mikita Vikharau – Belarusian State University (Minsk, Belarus), student. E-mail: vikharau.mikita@gmail.com

Konstantin Kupryianiuk – Limited Liability Company «Geoekoprojekt» (Minsk, Belarus), geologist, GPR Systems Specialist. E-mail: 7246348@gmail.com

Oleg Lukashov – Belarusian State University (Minsk, Belarus), PhD, Associate Professor. E-mail: 240660@mail.ru

Vyacheslav Peykhvasser – Belarusian State University (Minsk, Belarus), Senior Lecturer. E-mail: pvasser@bsu.by

Для цитирования:

Яротов А.Е., Вихарев Н.Г., Куприянюк К.В., Лукашёв О.В., Пейхвассер В.Н. Опыт применения технологии георадарного зондирования в исследовании объектов историко-культурного наследия в Республике Беларусь // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 143-153.

For citation:

Yarotau A., Vikharau M., Kupryianiuk K., Lukashov O., Peykhvasser V. (2026), Experience of applying ground penetrating radar in the research of historical and cultural heritage sites in the Republic of Belarus, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 1-2, pp. 143-153. (In Russ.).