

РУБРИКА: ИНЖЕНЕРНАЯ И РУДНАЯ ГЕОФИЗИКА

Опыт георадиолокационных исследований культурного слоя Старой Ладоги

Т. А. Мингалева (АО «НИПИИ „Ленметрогипротранс“»), М. С. Павлова (Институт истории материальной культуры Российской академии наук), С. В. Андрианов (АО «НИПИИ „Ленметрогипротранс“»)

В работе представлены результаты георадиолокационных исследований в южной части с. Старая Ладога (посад средневекового города Ладоги) на участке, исследованном археологическими раскопками в 2025 г. Геофизические исследования проводились с использованием георадара «ОКО-3» с антенным блоком 250/700 МГц. Основной целью работ было выявление археологических объектов в пределах «сухого» культурного слоя (зона аэрации), мощностью до 1,4 м. Пройдено 15 профилей длиной около 6,5 м, шаг 0,5 м. Сопоставление аномалий с археологическими данными позволило определить целевые объекты поиска: ямы (заглубленные части построек, хозяйственные ямы); скопления камней (остатки фундаментов, развалы отопительных сооружений); прослойки мешаной глины (основания под постройки и отопительные сооружения). Приведенные результаты позволяют применять георадиолокацию для локализации подобных объектов на поселенческих памятниках с аналогичными грунтовыми условиями.

Ключевые слова: георадиолокация, георадар, археология, раскопки, Старая Ладога, поселение, посад, культурный слой.

Experience of Ground-Penetrating Radar Investigation of the Cultural Layer in Staraya Ladoga in 2025

T. A. Mingaleva (JSC “Lenmetroprotrans” Research, Design and Survey Institute), M. S. Pavlova (Institute for the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences (IIMK RAS)), S. V. Andrianov (JSC “Lenmetroprotrans” Research, Design and Survey Institute)

The paper presents the results of ground-penetrating radar (GPR) investigations carried out in the southern part of the village of Staraya Ladoga, within the posad of the medieval town of Ladoga, at a site excavated archaeologically in 2025. The geophysical survey was conducted using an OKO-3 GPR system equipped with a 250/700 MHz antenna unit. The main objective of the work was to identify archaeological features within the “dry” cultural layer, corresponding to the vadose zone, with a thickness of up to 1.4 m. A total of 15 profiles, each approximately 6.5 m long, were acquired with a profile spacing of 0.5 m.

Correlation of the detected anomalies with archaeological data made it possible to define the main target objects: pits, including sunken parts of buildings and household pits; concentrations of stones, interpreted as remains of foundations and collapsed heating structures; and interlayers of reworked clay, associated with bases for buildings and heating installations. The results demonstrate that GPR can be effectively used to localize similar archaeological features at settlement sites with comparable soil conditions.

Keywords: ground-penetrating radar, GPR, archaeology, excavations, Staraya Ladoga, settlement, posad, cultural layer.

Введение

Ладога (совр. с. Старая Ладога на востоке Ленинградской обл.) — это древнейший город на Северо-Западе России, важный торгово-ремесленный и военно-административный пункт раннесредневекового и древнерусского времени.

В 2025 г. Староладожская археологическая экспедиция ИИМК РАН провела раскопки в южной части села (рис. 1).

По археологическим материалам, данная территория была заселена начиная с эпохи раннего средневековья. По письменным источникам XVI в., южная часть Ладоги, именуемая Никольским концом, была занята дворами и огородами. Опричнина, военные столкновения и строительство укреплений Земляного города послужили причиной ее постепенного запустения и перепланировки [1]. В 1703 г. Ладога утратила статус города, из нее вывели гарнизон, а многих жителей переселили в Новую Ладогу. Земли начали постепенно переходить в частную собственность и использоваться преимущественно под сенокосы и пастбища [2]. После 1930-х гг. территория снова начала застраиваться.

До настоящего времени археологические исследования проводились на ограниченных площадях (шурфами и траншеями). Они дали представление о мощности, характере, сохранности и распространении культурного слоя, а также позволили обнаружить грунтовый могильник с кремациями. Однако полученных данных недостаточно для реконструкции планировочной структуры на исследуемом участке. Одной из основных причин, препятствующих проведению необходимых для этого площадных раскопок, является нахождение большей части территории в границах частных землевладений и монастыря.

В полевом сезоне 2025 г. был исследован культурный слой поселения площадью 56 кв. м мощностью до 1 м, в ямах — до 1,4 м. Слой «сухой»: в нем не сохраняются остатки деревянных конструкций и предметы из органических материалов. Верхние 50–55 см нарушены в результате активной антропогенной деятельности. Первые 20–25 см под дерновым слоем представляют собой огородный слой — темно-серую гумусированную супесь с включениями мелкофракционного известняка, кирпичного боя и угольков. Следующие 25–30 см до начала стратифицированных напластований состоят из той же темно-серой супеси с линзами мешаной глины, песка, угля и скоплениями камней, а также шлейфом разрушения позднего фундамента. Около трети глубины стратифицированной толщи составляет погребенная почва — серо-фиолетовая глина мощностью 10–14 см, залегающая на археологическом материке — серой глине. Оставшиеся 20–30 см неоднородны на площади раскопа. В северо-восточной части

напластования представлены темно-серой оглиненной супесью с включениями угольков и мелкофракционного известняка, с линзами мешаной глины и углистыми прослойками. В юго-западной части находится участок мешаной глины площадью около 25 кв. м. Максимальная мощность 42 см фиксируется в юго-западной стенке раскопа и постепенно выклинивается в северо-восточном направлении. Стратифицированные напластования содержат остатки жилых и хозяйственных комплексов раннесредневекового и древнерусского времени в виде развалов камней от отопительных сооружений, а также ям, заглубленных в материк.

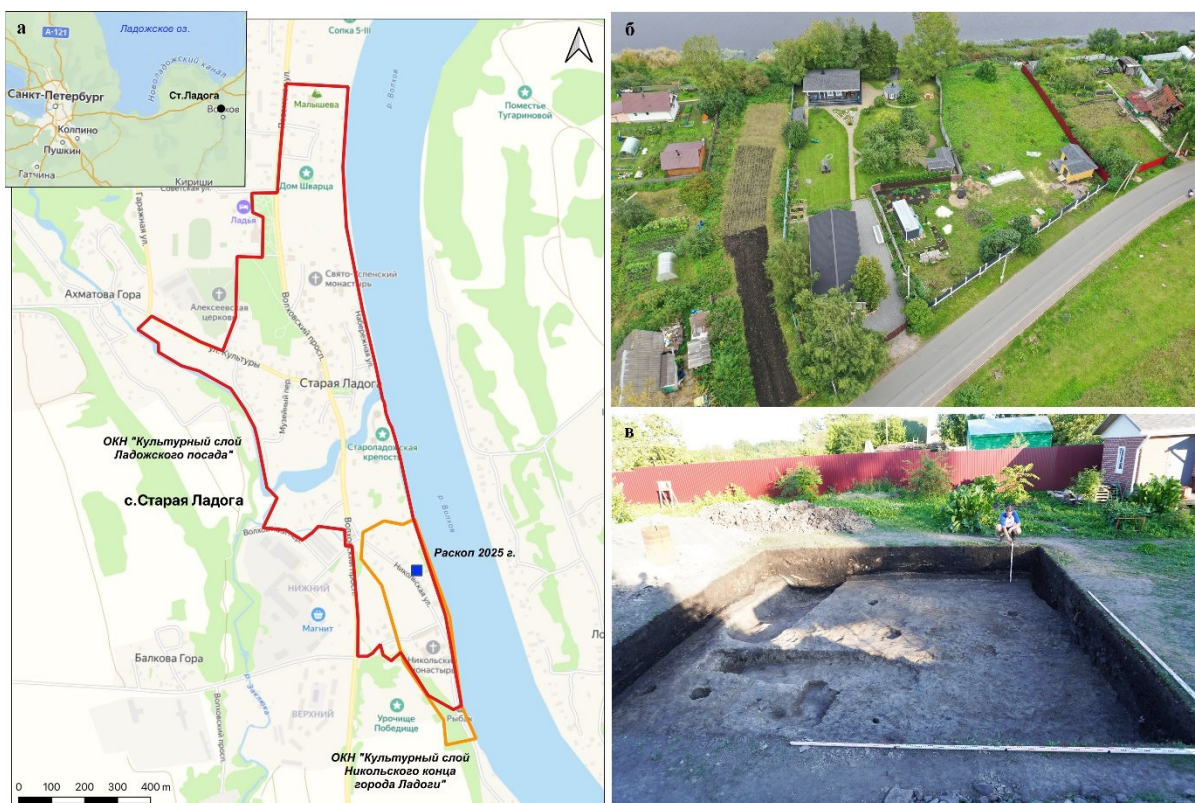


Рисунок 1. Обзор участка выполнения работ: а — схема расположения района исследования; б — место расположения раскопа, 2025 г. (фотография 2021 г.); в — раскоп 2025 г. после завершения работ на уровне археологического материка

Метод

После снятия дернового слоя на площади раскопа были проведены георадиолокационные исследования. Данный геофизический метод широко используется при решении археологических задач [3, 4], поскольку позволяет оперативно и дистанционно исследовать верхние метры разреза грунта без нарушения его целостности. Ранее георадиолокационные исследования были успешно применены при изучении погребального памятника в округе Старой Ладогы [5]. Изучение «сухого» культурного слоя (зоны аэрации) поселения проведено впервые.

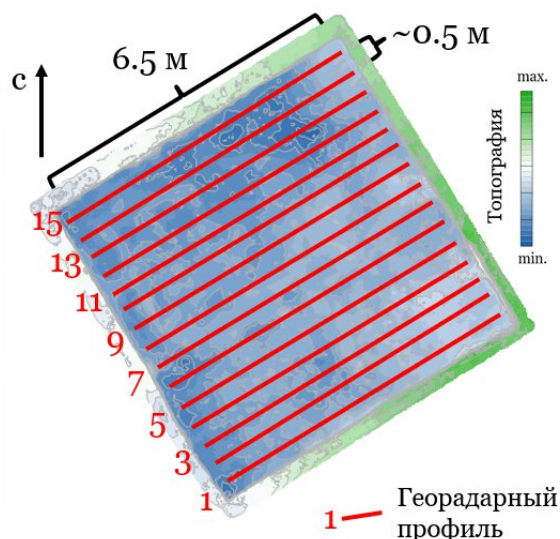


Рисунок 2. *Ход выполнения исследования: а — фотография процесса снятия измерений, б — схема сети профилей*

Полевые геофизические работы были проведены с использованием георадара «ОКО-3» с антенным блоком (АБ) с центральной частотой 250/700 МГц (рис. 2а).

В пределах изученной площади выполнено 15 профилей протяженностью около 6,5 м каждый (с учетом технического отступа). Расстояние между соседними профилями составляло около 0,5 м (рис. 2б). Достаточно густая сеть наблюдений обеспечила возможность детально проследить георадарные аномалии, пространственно совпадающие с объектами (ямы, скопления камней), выявленными в ходе археологических раскопок.

Результаты

Пересчет временных разрезов в глубинные выполнен с использованием среднего значения относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon = 13$. Данное значение принято как рабочее для исследуемого участка на основании сопоставления георадарных отражений с фактическими глубинами археологических горизонтов и объектов, зафиксированных в процессе раскопок. При $\epsilon = 13$ скорость распространения электромагнитной волны составляет около 0,083 м/нс, что обеспечивает наиболее согласованное положение основных отражающих границ и археологических уровней в пределах изученного интервала глубин.

Следует учитывать, что культурный слой исследуемого участка является неоднородным по составу, плотности и влажности, поэтому фактические значения диэлектрической проницаемости могут изменяться как по площади, так и по глубине. В связи с этим амплитудные срезы, построенные с использованием среднего значения ϵ , следует

рассматривать не как строго изоглубинные поверхности, а как приближенные изображения временных интервалов, пересчитанных в глубину. Это обстоятельство может приводить к тому, что на одном амплитудном срезе проявляются отклики от объектов и неоднородностей, расположенных на близких, но не полностью совпадающих глубинных уровнях.

Целевыми объектами поиска выступали ямы (заглубленные части жилых и нежилых построек, хозяйственные ямы), скопления камней (остатки фундаментов, развалы отопительных сооружений), прослойки мешаной глины в толще культурного слоя (основания под постройки и отопительные сооружения).

По результатам обработки георадарных данных были построены амплитудные срезы для различных глубинных уровней, позволяющие сопоставить распределение радиоволновых аномалий с археологическими планами раскопа. На амплитудных срезах выделяются локальные зоны повышенных амплитуд, выраженные в виде устойчивых пятен и линейно-вытянутых участков. Их положение в целом согласуется с участками скопления камней и расположением ям, зафиксированных в ходе археологических работ.

На рисунке 3 представлен амплитудный срез на глубине около 0,25 м в сопоставлении с планами раскопа на глубинах 0,15, 0,25 и 0,35 м¹. Важно отметить следующее. Методика археологических полевых исследований предусматривает разборку культурного слоя по пластам с одинаковой мощностью и вычерчивание плана на каждый пласт. В свою очередь амплитудный срез фиксирует суммарный георадарный отклик от неоднородностей, расположенных в пределах близких глубинных уровней. Это связано как с вертикальным разрешением георадарного метода, так и с тем, что амплитудный срез формируется в заданном временном/глубинном интервале и может включать вклад объектов, залегающих несколько выше или ниже номинальной глубины.

В результате сопоставления с археологическими планами установлено, что аномалии 2 и 7 лучше соотносятся с каменным материалом, зафиксированным на плане глубины 0,15 м. Аномалии 1, 3–5 наиболее уверенно сопоставляются с объектами, выделенными на уровне 0,25 м. При этом амплитудные аномалии 5 и 6 получают более полное объяснение при сравнении с планом на глубине 0,35 м, где соответствующие неоднородности выражены более отчетливо. Таким образом, амплитудный срез на глубине около 0,25 м следует рассматривать как интегральное изображение приповерхностного

¹ Приведенные в статье для сопоставления пластовые планы раскопа даны без избыточных археологических подробностей. Оставлены только зафиксированные целевые объекты поиска: скопления камней и ямы в материке.

горизонта, в котором суммируются отклики от объектов, расположенных на нескольких близких уровнях.

Розовым контуром (в районе аномалии 4) отмечена яма с современным мусором, которая по заполнению не отличалась от окружающего ее слоя, но выделялась по находкам. В частности, в ней был расчищен завал из обломков шифера, которые также дали аномалию.

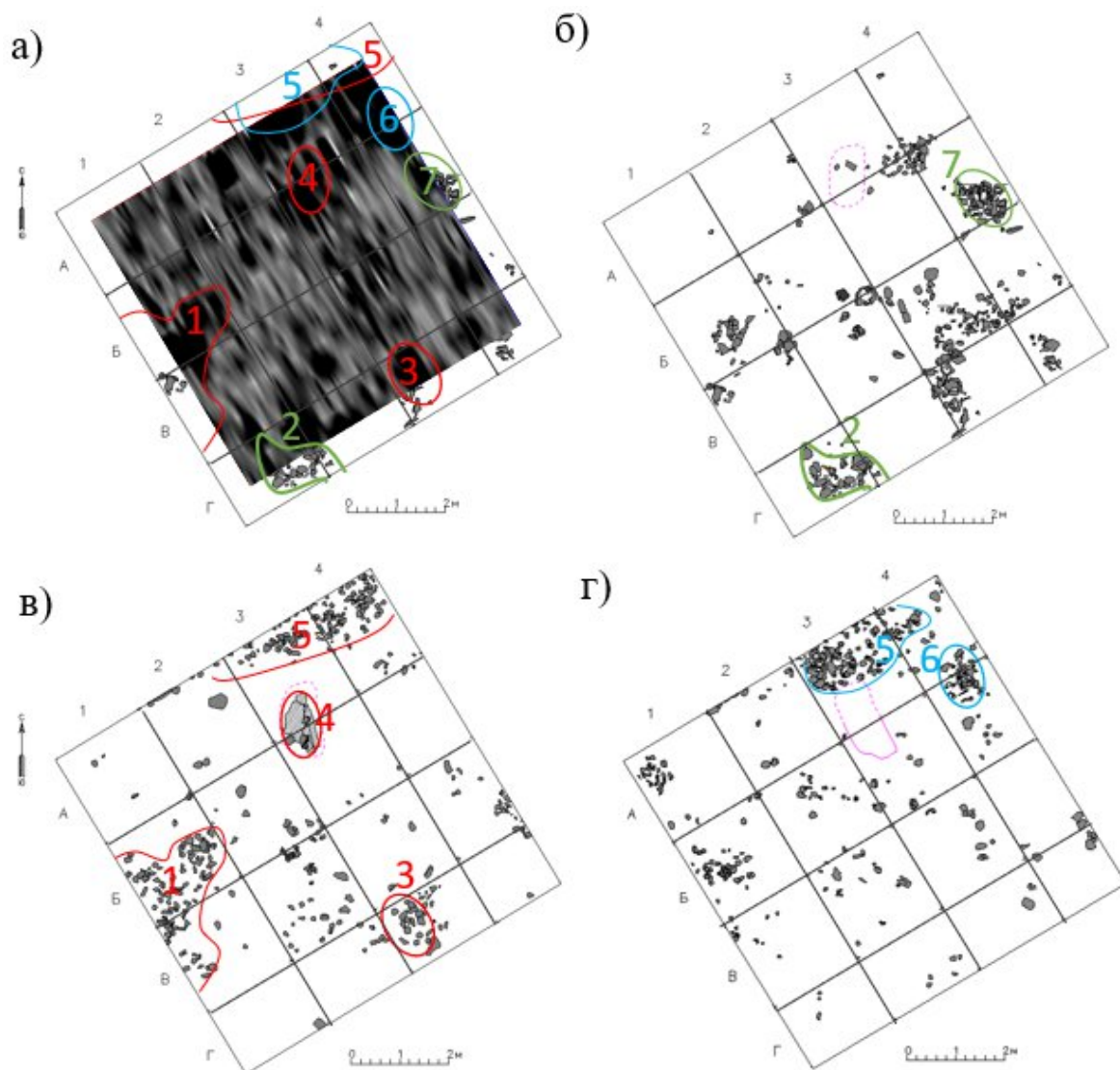


Рисунок 3. Результаты георадарного обследования раскопа 2025 г.: а — амплитудный срез на глубине ~0,25 м (цифры — нумерация выделенных аномалий); планы раскопов с выделенными объектами на глубинах 0,15 м (б), 0,25 м (в) и 0,35 м (г)

На рисунке 4 приведены результаты исследования для глубины около 0,50 м. На амплитудном срезе отчетливо выделяется интенсивная локальная аномалия, пространственно совпадающая с крупным скоплением камней в квадрате Б1 на плане раскопа. В отличие от участков с разреженным размещением камней, данное скопление формирует устойчивый высокоамплитудный отклик. Это позволяет

уверенно интерпретировать аномалию как результат отражения радиоволн от плотного и контрастного каменного объекта.

Таким образом, сопоставление амплитудных срезов на рисунках 3 и 4 с археологическими планами подтверждает высокую информативность георадарного метода при выявлении компактных скоплений камней в пределах раскопа.

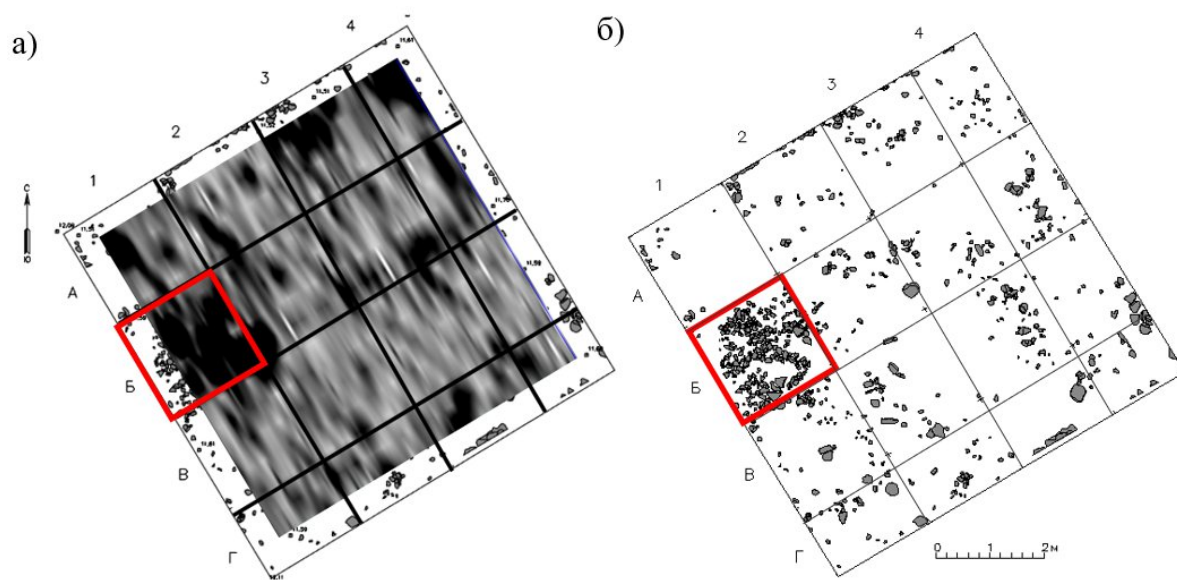


Рисунок 4. Результаты георадарного обследования раскопа 2025 г.: а — амплитудный срез на глубине ~0,50 м; б — план раскопа на глубине ~0,50 м (красный контур — скопление камней в квадрате Б1)

На рисунке 5 представлены результаты анализа более глубокого уровня — около 0,85 м, соотносящегося с уровнем материка. На амплитудном срезе (рис. 5а) выделяются две зоны повышенных амплитуд, обозначенные цифрами 1 и 2. Их положение сопоставлено со схемой расположения георадарных профилей на фоне цифровой модели микрорельефа раскопа (рис. 5б), а также с фотографиями участков (рис. 5в), где фиксируются ямы. Повышенные амплитуды в этих зонах могут быть связаны с изменением структуры приповерхностной толщи, нарушением геометрии отражающих границ и наличием локальных углублений, соответствующих археологическим ямам.

Дополнительную информацию дают георадиолокационные профили (рис. 5г), проходящие через зоны повышенных амплитуд. На разрезах фиксируются участки локального прогиба, нарушения и смещения осей синфазности, а также изменение характера отражающих границ. Например, в интервале около 5–6,5 м от начала профиля 2 наблюдается деформация отражающих горизонтов, которая может быть связана с локальным углублением или нарушением слоистости заполнения. При этом характер таких искажений согласуется с особенностями микрорельефа, отраженного на цифровой модели поверхности раскопа.

Не все выделенные георадарные аномалии имеют прямое археологическое подтверждение. Например, аномалия на расстоянии около 1 м от начала профиля 2 не совпадает с ямами, зафиксированными в материке. Однако это не исключает ее геофизической природы, поскольку георадарный отклик определяется распределением электрофизических свойств среды. Локальные изменения влажности, плотности, глинистости, степени перемешанности грунта, наличие мелких включений или современных нарушений могут формировать амплитудные аномалии, не имеющие выраженного археологического аналога на плане раскопа.

Таким образом, интерпретация рисунка 5 показывает, что амплитудные аномалии на глубине около 0,85 м не следует рассматривать только как прямое отображение отдельных археологических объектов. Они отражают комплексный эффект, обусловленный сочетанием подповерхностных неоднородностей, локальных углублений, изменений заполнения ям и влияния микрорельефа на форму георадарных отражений.

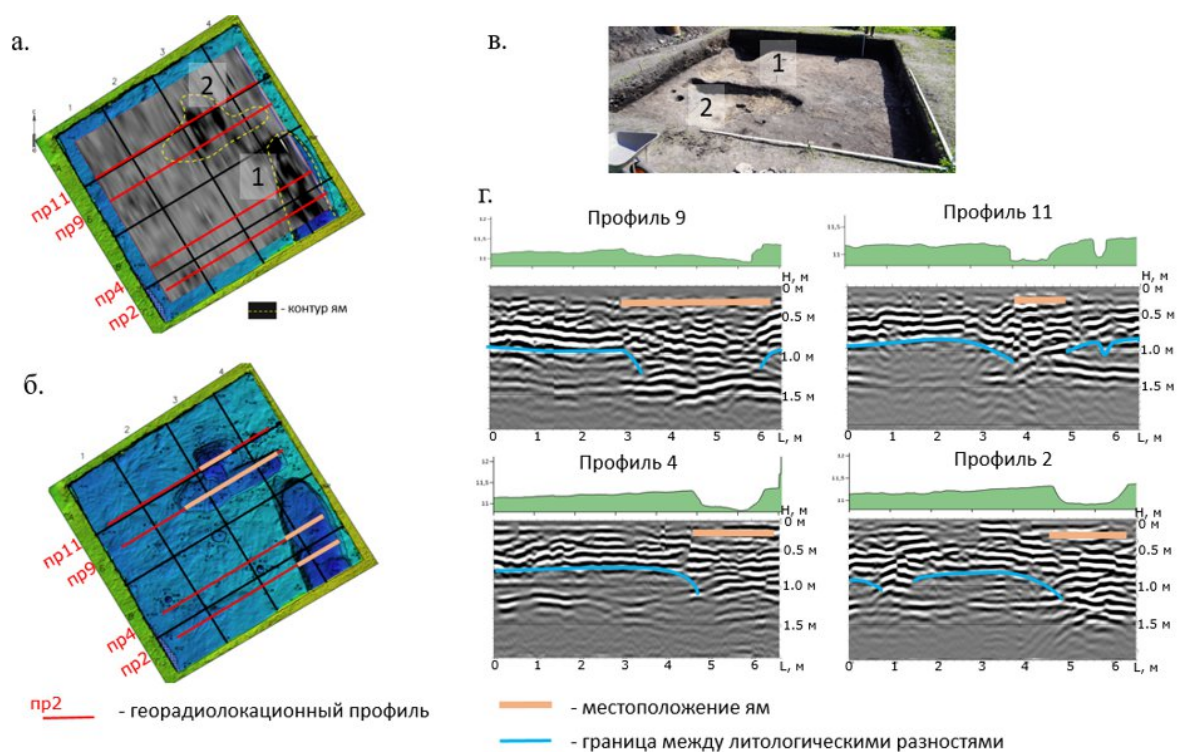


Рисунок 5. Результаты георадарного обследования раскопа 2025 г.: а — амплитудный срез на глубине ~0,85 м (1 и 2 — зоны повышенных амплитуд); б — схема расположения георадарных профилей на фоне цифровой модели микрорельефа (далее — ЦММ) раскопа для глубины ~0,85 м; в — фото местоположения ям; г — примеры георадиолокационных профилей в пределах зон повышенных амплитуд с интерпретацией отражающих границ (внизу) и соответствующим изменением микрорельефа вдоль линии профиля (вверху)

Выводы

Соотнесение данных, полученных в ходе георадиолокационного исследования, с результатами археологических раскопок, показало высокую эффективность метода при изучении «сухого» культурного слоя поселения в южной части Старой Ладogi.

Выявленные после обработки полевых данных локальные амплитудные аномалии хорошо коррелируются с частью объектов, раскрытых в ходе археологических раскопок: ямами в материке и скоплениями камней.

Важно отметить, что в рамках примененной методики съемки и обработки наиболее уверенно выделяются крупные ямы, заглубленные в материковую глину, а также объекты с контрастным заполнением или плотными включениями. Ямы, расположенные только в пределах культурного слоя и не содержащие выраженных контрастных элементов, в полученных материалах проявляются слабо или не имеют устойчивых диагностических признаков. В частности, мелкие столбовые ямки в большинстве случаев не были уверенно выделены по георадарным данным, что связано с их малым размером, слабым электрофизическим контрастом и ограничениями выбранной сетки наблюдений и обработки.

Наблюдаемые искажения линий осей синфазности коррелируют с особенностями микрорельефа участка, фиксируемого на ЦММ раскопа, что подтверждает достоверность интерпретации георадарных данных.

Проведенные изыскания имеют важный методический характер, так как позволяют накапливать опыт интерпретации георадиолокационных данных, подтвержденных археологическими раскопками.

Выполненные исследования в перспективе могут оказать существенную помощь в изучении южной части с. Старая Ладога, большая часть территории которого в настоящий момент находится в границах частных землевладений и монастыря. Согласование работ неразрушающими методами в сжатые сроки является более реальным и экономичным по сравнению с площадными археологическими раскопками. Георадиолокационные исследования помогут определить мощность культурных напластований на разных участках, выявить и картировать крупные объекты в материке, а также скопления камней в слое. Данная информация позволит предварительно реконструировать участки освоения (застройки) и наметить перспективные места для археологических раскопок.

Список литературы

1. Кирпичников А. Н. Посад средневековой Ладogi / А. Н. Кирпичников // В кн.: Средневековая Ладoga. Новые археологические открытия и исследования (под ред. В. В. Седова). — Л.: Изд-во «Наука», Ленинградское отд-е, 1985. — С. 170–180.
2. Мильчик М. И. Старая Ладoga. Очерк градостроительной истории / Мильчик М. И. — СПб.: ЛООО «Сохранение природы и культурного наследия», 2014.
3. Бричёва С. С. Опыт использования георадара в исследованиях на позднелитической стоянке Авдеево в Курской области / Бричева С. С., Кандинов М. Н., Матасов В. М. // Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология. — 2016. — № 4. — С. 132–143.
4. Forte E. Integrated seismic tomography and ground-penetrating radar (GPR) for the high-resolution study of burial mounds (tumuli) / Forte E.; Pipan M. // Journal of Archaeological Science. — 2008. — № 35. — <https://doi.org/10.1016/J.JAS.2008.04.024>.
5. Васильев С. А. Могильник Плакун: новое открытие известного памятника по результатам ВЛС и георадиолокационных исследований / Васильев С. А., Григорьева Н. В., Медведев Н. О., Павлова М. С., Сенчина Н. П. // Уфимский археологический вестник. — 2024. — № 3. — С. 573–586. — <https://doi.org/10.31833/uav/2024.24.3.038>.

References

1. Kirpichnikov A. N. Posad srednevekovoi Ladogi / A. N. Kirpichnikov // In.: Srednevekovaya Ladoga. Novye arkheologicheskie otkrytiya i issledovaniya (ed. V. V. Sedova). — L.: Izd-vo "Nauka", Leningradskoe otd-e, 1985. — Pp. 170–180 (in Russ).
2. Mil'chik M. I. Staraya Ladoga. Ocherk gradostroitel'noi istorii / Mil'chik M. I. — SPb.: LOOO "Sokhranenie prirody i kul'turnogo naslediya", 2014 (in Russ).
3. Brichyova S. S. Opyt ispol'zovaniya georadara v issledovaniyah na pozdnepaleoliticheskoy stoyanke Avdeevo v Kurskoj oblasti / Brichyova S. S., Kandinov M. N., Matasov V. M. // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23. Antropologiya. — 2016. — No. 4. — Pp. 132–143.
4. Forte E. Integrated seismic tomography and ground-penetrating radar (GPR) for the high-resolution study of burial mounds (tumuli) / Forte E.; Pipan M. // Journal of Archaeological Science. — 2008. — No. 35. — <https://doi.org/10.1016/J.JAS.2008.04.024>.

5. Vasil'ev S. A. Mogil'nik Plakun: novoe otkrytie izvestnogo pamyatnika po rezul'tatam VLS i georadiolokatsionnykh issledovaniy / Vasil'ev S. A., Grigor'eva N. V., Medvedev N. O., Pavlova M. S., Senchina N. P. // Ufimskiy arkheologicheskiy vestnik. — 2024. — No. 3. — P. 573–586. — <https://doi.org/10.31833/uav/2024.24.3.038>.