



Научная статья
УДК 550.8:903
EDN: ZTOPKG
DOI: <https://doi.org/10.21285/2415-8739-2024-4-22-33>

Применение георадиолокации при выявлении и изучении древних захоронений в пределах Фофановского некрополя

А.Г. Дмитриев, А.А. Дмитриев

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются целевое назначение, вопросы обоснования методики и техники георадиолокационных зондирований при выявлении и изучении древних захоронений на восточном фланге Фофановского могильника. Приведены возможности георадиолокационных зондирований с использованием георадара ОКО-2 при поиске неоднородностей в верхней части геологического разреза. Рассмотрены основные виды помех и показаны основные факторы, которые необходимо учитывать при проведении изысканий в лесистой местности. По результатам опытных работ с различными антеннами определены основные особенности методики площадных исследований (сеть наблюдений, частотный диапазон регистрируемых колебаний, оптимальные параметры регистрации, способы топографической привязки и т. п.). Сформирован граф обработки полевых данных с использованием специализированного пакета GeoScan-32, включающий: редакцию данных; масштабирование; ноль-фазовую деконволюцию; регулировку усиления; спектральный анализ; полосовую фильтрацию, скоростные анализы, веерную и когерентную фильтрации; миграцию. По дифрагированным волнам определены скорости электромагнитных волн и закономерности их изменений по площади, что обеспечило корректную трансформацию временных разрезов в глубинные. По результатам интерпретации радарограмм на ряде профилей были намечены 5 участков возможных захоронений. При проведении раскопок на трех из них на глубинах 0,7–0,9 м были обнаружены захоронения – два одиночных и одно коллективное. Две аномалии были обусловлены погребенными корневыми системами. Возраст захоронений оценивается в пределах 6000 лет. В итоге георадиолокационные зондирования обеспечили целенаправленное проведение археологических исследований, однозначную локализацию захоронений и, как следствие, – существенное снижение объемов вскрышных работ.

Ключевые слова: антенна, электромагнитные волны, георадар, помехи, геологический разрез, физические свойства, радарограмма, цифровая обработка, дифракционные волны, захоронение, методика георадиолокационных зондирований

Благодарности. Авторы выражают благодарность за консультации, участие и помощь в проведении работ Е.Д. Жамбалтаровой и Ю.Б. Башкуеву (Бурятский научный центр СО РАН).

Для цитирования: Дмитриев А.Г., Дмитриев А.А. Применение георадиолокации при выявлении и изучении древних захоронений в пределах Фофановского некрополя // Известия Лаборатории древних технологий. 2024. Т. 20. № 4. С. 22–33. DOI: 10.21285/2415-8739-2024-4-22-33. EDN: ZTOPKG.

Archaeology

Original article

The use of GPR in the identification and study of ancient graves within the Fofanovsky necropolis

Alexander G. Dmitriev, Aleksei A. Dmitriev

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The article discusses the intended purpose, issues of substantiation of the methodology and technique of geo-radar sounding in the identification and study of ancient graves on the eastern flank of the Fofanovsky burial ground. The possibilities of geo-radar sounding using the OKO-2 georadar in the search for inhomogeneities in the upper part of the geological section are

© Дмитриев А.Г., Дмитриев А.А., 2024

presented. The main types of interference are considered and the main factors that must be taken into account when conducting surveys in a wooded area are shown. Based on the results of experimental work with various antennas, the main features of the areal research methodology were determined (observation network, frequency range of recorded vibrations, optimal registration parameters, methods of topographic mapping, etc.). A graph of field data processing using a specialized GeoScan-32 package was formed, including: data editing; scaling; zero-phase deconvolution; gain control; spectral analysis; bandpass filtering, velocity analyses, fan and coherent filtering; migration. The velocities of electromagnetic waves and the patterns of their changes in area were determined from diffracted waves, which ensured the correct transformation of time sections into deep ones. Based on the results of the interpretation of radar images, 5 sites of possible burials were identified on a number of profiles. During excavations at three of them at depths of 0.7-0.9 m, burials were found - two single and one collective. Two anomalies were caused by buried root systems. The age of the graves is estimated to be within 6,000 BP. As a result, georadiolocation probing provided purposeful archaeological research, unambiguous localization of burials and, as a result, a significant reduction in the volume of overburden work.

Keywords: antenna, electromagnetic waves, georadar, interference, geological section, physical properties, radarogram, digital processing, diffraction waves, burial, GPR technique

Acknowledgements. The authors express their gratitude to E.D. Zhambaltarova and Yu.B. Bashkuev (Buryat Scientific Center SB RAS) for consultations, participation and assistance in carrying out the work.

For citation: Dmitriev A.G., Dmitriev A.A. (2024) The use of GPR in the identification and study of ancient graves within the Fofanovsky necropolis. *Reports of the Laboratory of Ancient Technologies*. Vol. 20. No. 4. P. 22-33. (In Russ.). DOI: 10.21285/2415-8739-2024-4-22-33. EDN: ZTOPKG.

Данная статья посвящена возможностям, ограничениям и путям обоснования основных элементов методики георадиолокационных зондирований (ГРЛЗ), которые в настоящее время являются основным инструментом в комплексе геофизических методов при изучении археологических объектов. Фофановский могильник находится в 60 км от г. Улан-Удэ на правом берегу р. Селенги на склоне Фофановской горы. Могильник был открыт в 1926 г. академиком А.П. Окладниковым. Дальнейшие исследования 1931; 1934–1936; 1948–1950; 1959; 1987–1991 и 1996 годов позволили выявить свыше 100 захоронений. Были определены основные закономерности размещения захоронений, их возраст, принадлежность их к соответствующим антропологическим типам и т. п. Итоги более чем полувековых исследований приведены в коллективной обобщающей монографии «Погребальные комплексы неолита – раннего бронзового века (формирование архетипов первобытной культуры)» института археологии и этнографии СО РАН (Лбова, Жамбалтарова, Конев, 2008), в которой значительная часть посвящена Фофановскому некрополю.

Однако до сих пор не определены общие границы памятника. В связи с этим в 2007–2009 годах исследования были продолжены на пяти участках восточной части древнего могильника, примыкающих к участкам предыдущих раскопок (рис. 1). Площадь исследований в 1700 м² была намечена

археологической группой Бурятского научного центра СО РАН в рамках гранта РФФИ. Участки размечались согласно предполагаемым положениям захоронений.

Полевые археологические работы, проводились с целью всестороннего исследования, точной фиксации и научной оценки памятника археологии с полной характеристикой его топографии, стратиграфии, выделения культурного слоя, сооружений, археологического материала, датировок и прочее. Раскопки памятников археологии достаточно сложная и тяжелая работа, имеющая массу ограничений, жестко регламентируемых порядком их проведения. Этим требованиям соответствует археологическая геофизика (Слукин, 1988; Станюкович, 1996), которая изучает скрытые объекты историко-культурного наследия – археологические артефакты и комплексы, содержащиеся в культурных напластованиях. Геофизические методы исследований, в отличие от археологических, являются неразрушающими (Франтов, Пинкевич, 1966). Актуальность их проведения особенно возрастает при экстренных исследованиях территорий перед застройкой, там, где раскопки не запланированы или по каким-либо причинам затруднены или невозможны. При невозможности проведения раскопок на всей территории в зоне строительства, такая геофизическая информация зачастую оказывается единственным источником знаний. Для изучения археологических объектов применяются многие



Рис. 1. Космоснимок района работ и схема размещения участков георадарной съемки 2007–2009 гг. (квадратами отмечены места и номера выявленных захоронений)

Fig. 1. Satellite image of the work area and the layout of the GPR survey sites 2007–2009 (the squares mark the places and numbers of the identified graves)

геофизические методы дистанционных исследований: аэрофотосъемка, лидарометрия; литогеохимическая (Микляев, Герасимова, 1968; McKerrell, McCawley, 1971; Дмитриев А.Г., Богданов А.В., Дмитриев А.А., 2020) и тепловая съемка; сейсморазведка (Глазунов, Гоц, Кроль, Самбуев, 1981) и ядерно-геофизические методы; магнитометрические (Скакун, Тарасов, 2000; Kozhevnikov, Kharinsky, Snorkov, 2019) и гравиметрические съемки (Дмитриев А.Г., 2019), а так же различные электрические зондирования (Станюкович, 1997; Базаров Б.А., Татьков И.Г., Базаров А.Д., 2015).

Метод ГРЛЗ является одним из наиболее перспективных и широко используемых геофизических методов исследований верхней части геологического разреза (ВЧР) особенно при решении археологических задач (Финкельштейн, Кутев, Золотарев, 1986). К преимуществам метода можно отнести высокую разрешающую способность, относительно высокую помехоустойчивость, а также высокую производительность и экономичность производства работ. Использование ГРЛЗ даёт возможность детально исследовать подповерхностную структуру верхней части геологического разреза (ВЧР) до глубины 8–10 м, не нарушая целостно-

сти массива, существенно уменьшая количество горных выработок.

Задачи, решаемые ГРЛЗ при археологических изысканиях, могут быть разделены на ряд направлений с характерными для каждой группы методиками исследований, способами обработки, типами регистрируемых сигналов и формами представления результатов (Мартынов, Шер, 1989¹; Станюкович, 1996; Журбин, 2004; Дмитриев А.А., 2015). Основными из них являются:

- картирование геологических структур, а именно восстановление геометрии границ, поверхности коренных пород под рыхлыми осадочными отложениями, определение уровня грунтовых вод, границ между слоями различного генезиса, с различной степенью водонасыщения и т. п.;
- выявление мест захоронений или наиболее вероятного их местоположения;
- геометризация захоронений с определением их глубины залегания и размеров;
- поиск и оконтуривание погребенных надмогильных сооружений;

¹ Мартынов А.И., Шер Я.А. Методы археологического исследования : учеб. пособие. М. : Высшая школа, 1989. 223 с.

– изучение скрытых объектов историко-культурного наследия: археологических артефактов и комплексов, содержащихся в культурных напластованиях; памятников, утративших внешние отличительные признаки (фундаменты несохранившихся зданий и сооружений, рвы, валы, водоводы, карьеры и т. п.);

– сопутствующие археологические изыскания на стадии лицензирования строительства и горно-геологического обоснования ввода в разработку и эксплуатацию месторождений полезных ископаемых.

В зависимости от решаемых задач, орографических условий и размеров территории исследований возможно применение воздушных, аквальных, скважинных и наземных вариантов ГРЛЗ. Реализуемый на основе использования беспилотных легких летательных аппаратов (дронов) и узкополосных экранированных антенн ГРЛЗ используется в основном на первом рекогносцировочном этапе исследований больших территорий (Garcia-Fernandez, Alvarez-Lopez, Las Heras, 2019). Донные или плавающие гидроизолированные антенны применяются при изучении подводных объектов в основном на пресных водоемах глубиной до 10–15 м (Старовойтов, Валиуллина, Ошкин, Пятилова, 2019). Основной объем ГРЛЗ осуществляется в наземном варианте. Возможности ГРЛЗ доказывают обилие статей по этой тематике, проведение различных вебинаров и не сходящие с экранов телевизоров ролики свидетельствуют об успешном применении ГРЛЗ при изучении различных археологических объектов в различных геоэкологических условиях (Нерадовский, 2009).

ГРЛЗ в условиях Восточной Сибири позволили получить ряд положительных результатов при решении археологических задач. Это исследования фундамента Спасской церкви (Дмитриев А.А., 2007) и бывшего Лютеранского кладбища (Дмитриев А.Г., 2019) в г. Иркутске; мемориала жертвам политических репрессий в районе пос. Пивовариха (Дмитриев А.Г., Богданов А.В., Дмитриев А.А., 2020); изучение могильника Гуджир-Мугэ хуннской культуры в Бурятии (Базаров Б.А., Татьков И.Г., Базаров А.Д., 2015).

Методика ГРЛЗ определяется целями и задачами археологических исследований. Основными факторами, определяющими методику работ, яв-

ляются: физические свойства пород и грунтов (диэлектрическая проницаемость и удельное электрическое сопротивление), требуемая глубинность исследований, а также разрешающая способность по вертикали и горизонтали. Именно они регламентируют такие элементы методики работ как: частота зондирующего импульса; тип, геометрия и расположение антенн; количество накоплений; скорость съемки и режим движения; расстояние между профилями; способ вывода информации и т. п. В работе М.Л. Владова и М.С. Судаковой (Владов, Судакова, 2017)², сформулированы основные критерии и способы обоснования методики ГРЛЗ – чем выше частота зондирующих импульсов, тем ниже глубинность исследований, но выше разрешающая способность.

Для районов, где информации о геологическом строении ВЧР, характере помех и физических свойствах пород недостаточно, выбор методики работ целесообразно осуществлять на основе опытных работ. Для отработки оптимальной методики исследований в пределах Фофановского некрополя на эталонном участке № 1 (см. рис. 1) были проведены измерения с использованием экранированных антенн с центральными частотами 250, 700 и 1700 МГц. В качестве основной антенны была выбрана антенна АБ-700. Более высокочастотный блок АБ-1700 в данных условиях обладал недостаточной глубинностью. Работы с низкочастотным блоком АБ-250 из-за большой длины волны показали его низкую разрешающую способность.

Частота антенн определяет разрешающую способность и максимальную глубину, с которой можно получить полезную информацию. Кроме того, на глубинность исследований влияют развертка и значение диэлектрической проницаемости (ϵ) среды. При этом длительности записи колебаний электромагнитного поля и развертка лимитируют временной диапазон полезной записи и её разрешающую способность. Анализ результатов ГРЛЗ по эталонному участку позволил выбрать оптимальные параметры сканирования. Для антенны АБ-700 это 48 и 24 нс, соответственно. Подобные

² Владов М.Л., Судакова М.С. Георадиолокация. От физических основ до перспективных направлений : учеб. пособие. М. : Из-во ГЕОС, 2017. 240 с.

характеристики и параметры записи обеспечили глубинность исследований 2–2,5 м при разрешающей способности в пределах 5–8 см. Следует отметить, что в результате опытных работ на границе участков № 1 и № 5 было выявлено захоронение ребенка китойского времени (Дмитриев А.А., 2015).

Опираясь на опыт предшествующих исследований, при ожидаемой глубине захоронений до 2 м и средних размерах захоронений 1,0 x 1,5 м, ориентированных преимущественно на восток (Лбова, Жамбалтарова, Конев, 2008), наблюдения велись в движении по прямолинейным меридиональным профилям, расстояние между которыми не превышало 1,5 м. Такая сеть профилей со 100 % вероятностью обеспечивала выявление искомым объектов. Разбивка профилей осуществлялась методом обратного вешения непосредственно в процессе наблюдений, а их синхронизация и привязка на местности – путем простановки меток на радарограммах через каждые 5–10 м движения. Это обеспечило на этапе предварительной обработки корректировку положения трасс и масштабирование линейных размеров профилей. Окончания профилей фиксировались колышками (рис. 2) с последующей их привязкой на местности с помощью GPS приемников Garmin.

При проведении работ на результаты оказывают влияние различные помехи, которые могут затруднить или привести к пропуску захоронения. Помехи на радарограммах в основном связаны с дифрагированными волнами, которые легко распознаются благодаря характерному виду – гиперболическостью осей синфазности. Их можно разделить на три типа: воздушные, наземные и подземные. Воздушные помехи в виде гиперболических осей синфазности возникают от стен строений, деревьев, столбов или ЛЭП. На радарограмме (рис. 3) приведены интенсивные интерферирующие дифрагированные волны, обусловленные небольшой рощей, находящейся в 10–12 метрах от профиля. Из-за своей интенсивности подобные помехи полностью затушевывают искомые объекты. Для их минимизации на этапе обработки необходимо проведение скоростной фильтрации или предсказательной деконволюции.

Первым условием определения природы помех является детальная документация поверхностных условий, анализ волновой картины на соседних профилях и определение скорости в покрывающей среде. Если скорость электромагнитной волны примерно равна 30 см/нс, а на расстоянии до 10–15 м от точки дифракции имеются наземные



Рис. 2. Раскоп со вскрытым костровищем и захоронением № 2
Fig. 2. Excavation site with an open fire-place and burial No. 2

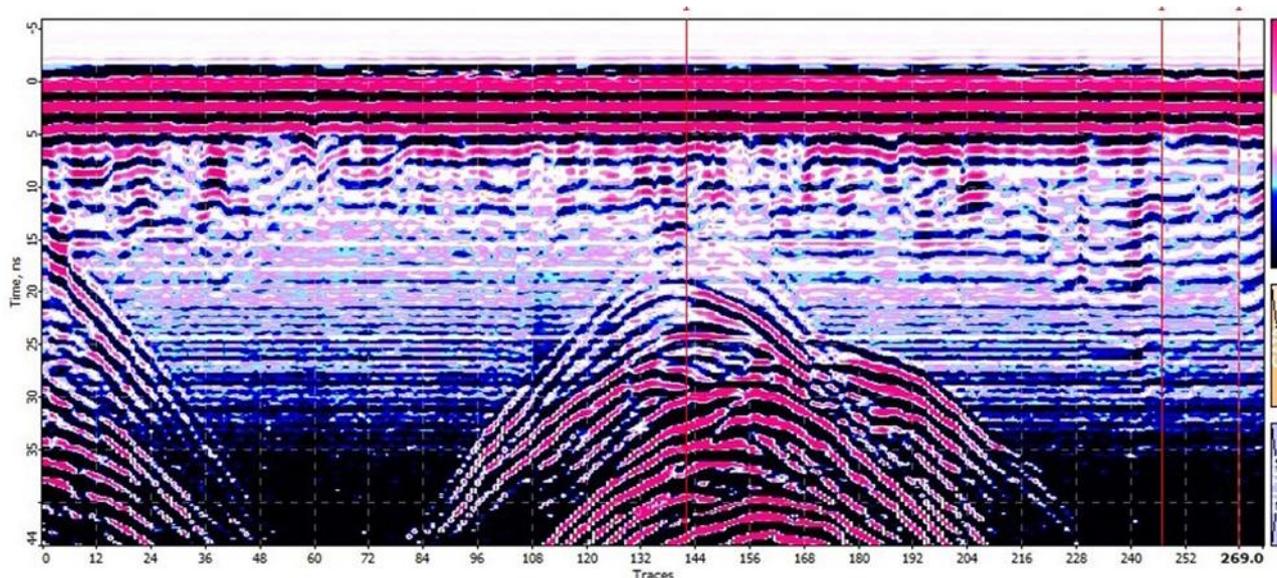


Рис. 3. Типичный вид воздушных помех на радарограмме
Fig. 3. Characteristic type of air interferences on a radargram

объекты – это однозначно воздушные помехи, которые необходимо отфильтровывать. Если скорость изменяется от 5 до 20 см/нс – это подземный объект, природа которого требует уточнения. Данные значения скоростей, характерны для рыхлых песчано-глинистых пород, при естественной влажности – т. е. выше уровня грунтовых вод (Зинченко, 2005)³.

К наземным помехам относятся искажения сигнала, обусловленные неровностями дневной поверхности вдоль профиля. Одним из основных факторов, влияющих на качество радарограмм, является стабильность линии наблюдения. Так, изменение угла наклона антенны на 3–5 градусов, при глубине залегания изучаемой границы 2 м, ведет к скачкообразному смещению точки отражения на 5–15 см в горизонтальной плоскости. Естественно, что в этом случае отражающая точка трансформируется в площадку с не предсказуемыми формами и параметрами. Отработка подобных интервалов профилей требует проведения детализационных работ и соответствующей их подготовки – пошаговом перемещении антенны и регистрации сигнала в режиме «старт / стоп».

Подземные помехи, в основном, являются отражениями от погребенных стволов деревьев и их

корневых систем; валунов и засыпанных подземных конструкций, которые могут быть приняты за захоронения. Данные дифрагированные волны с одной стороны являются помехами, а с другой – единственной информацией, позволяющей определить скорости электромагнитных волн в районе исследований и, как следствие, корректно преобразовывать временные разрезы в глубинные. Простейшим способом определить скорость в покрывающей среде ($V_{эф}$) до точки дифракции является практически забытый метод квадратичных координат (Справочник геофизика..., 1966)⁴. Он позволяет достаточно быстро путем простейших расчетов по форме годографов определить не только скорость, но и тип помехи. Для корректных расчетов необходимы: хотя бы одна (левая или правая) ветвь годографа, значение эхо-глубины (t_0) и точная пространственная привязка всех радаротрасс, участвующих в расчетах.

В настоящее время на рынке программных продуктов имеются такие Российские специализированные системы обработки и интерпретации данных ГРЛЗ как: GeoScan-32 (НПЦ «Геотех»), Призма-2.5 (фирма «Radar Systems Inc»), RadExPro (фирма «Деко-Геофизика») и др. Все системы (Вла-

³ Зинченко В.С. Петрофизические основы гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации геофизических данных : учеб. пособие. М., Тверь : Из-во АИС, 2005. 392 с.

⁴ Справочник геофизика / под ред. О.П. Грациановой. М. : Гостоптехиздат, 1966. Т. 4. Сейсморазведка. 749 с.

дов, Судакова, 2017)⁵ обеспечивают ввод, хранение и обработку информации в формате SEG-Y, что обеспечивает возможность их совместного использования и взаимной увязки на любых этапах исследований. Все системы в своем арсенале имеют опции интерпретации дифрагированных волн, которые основаны на сравнении теоретического годографа дифрагированной волны с реальным волновым полем. На рисунке 4 приведен пример анализа радарограммы и определения типа помех методом «Гиперболы» в рамках обрабатывающей системы Призма-2.5.

При обработке этим методом на экране возникает теоретическая гипербола от точечного объекта в однородной среде, которая сравнивается с реальным волновым полем. После совмещения теоретической (красная линия) с интерпретируемой гиперболой, путем изменения крутизны ветвей добиваются их максимального совпадения. При этом контролируется форма радаротрассы в точке анализа (окно слева), а справа выводится окно с параметрами среды и предполагаемой природой помехи. В данном случае система однозначно диагностировала помеху как воздушную (*air*).

Однако данный способ имеет ряд ограничений. При изучении разрезов в движении положение антенн в пространстве определяется стабиль-

ностью скорости движения оператора по профилю и количеством зондирующих импульсов, которое составляет 14 трасс в секунду. В связи с этим для точного определения местоположения возмущающего объекта целесообразно проведение детализационных работ путем поточечного перемещения антенн и регистрации радаротрасс в режиме «старт / стоп». Кроме точной привязки данный режим обеспечивает возможность накопления сигналов и как следствие – повышение глубинности и разрешающей способности метода, а также корректного применения современных систем обработки данных ГРЛЗ.

Детальная обработка материалов ГРЛЗ по Фофановскому некрополю включала в себя достаточно традиционные процедуры:

- ввод информации в ЭВМ;
- редакцию;
- корректировку положения трасс;
- масштабирование;
- ноль- фазовую деконволюцию;
- регулировку усиления;
- спектральный анализ;
- полосовую фильтрацию;
- скоростные анализы по дифрагированным волнам;
- веерную фильтрацию в диапазоне скоро-

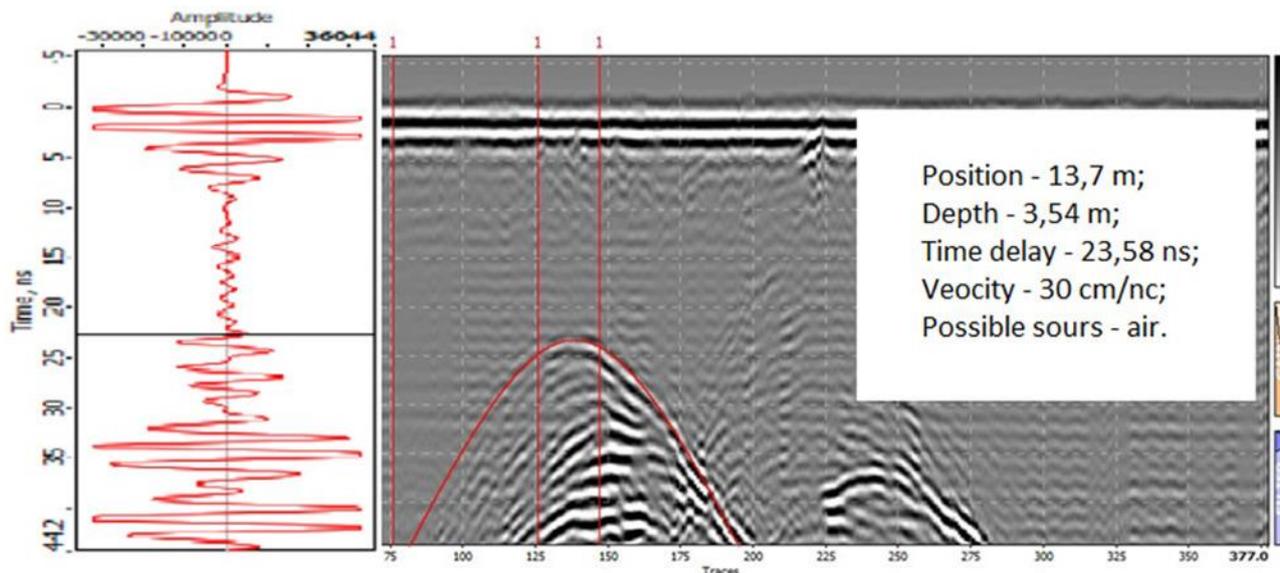


Рис. 4. Определение природы ГРЛЗ-аномалий методом гиперболы
Fig. 4. Determination of the nature of GPR - anomalies by the hyperbola method

⁵ Владов М.Л., Судакова М.С. Георадиолокация. От физических основ до перспективных направлений : учеб. пособие. М. : Из-во ГЕОС, 2017. 240 с.

стей от 20 до 35 см/нс;

– миграцию;

– трансформацию временных разрезов в глубинные;

– вывод на бумагу отчетных материалов.

Не останавливаясь на описании выше приведенных процедур, которые достаточно детально описаны в специальной литературе (Старовойтов, 2008)⁶, рассмотрим результаты обработки, по участку № 5 (см. рис. 1), в пределах которого по данным ГРЛЗ были намечены 3 площадки. Несмотря на небольшую глубину исследований, за счет интенсивного затухания сигнала в суглинках – захоронения на исходных радарограммах слабо контрастны. После проведения предварительной обработки удалось получить достаточно информативные временные и глубинные разрезы (рис. 5).

Однозначными индикаторами наличия подповерхностных возмущающих объектов являются нарушение корреляции – своеобразный провал осей синфазности ниже залегающих отражающих горизонтов и наличие, в виде гиперболических годографов, целого веера дифрагированных волн от верхней ($t_0 = 25$ нс) и нижней ($t_0 = 32$ нс) кромок захоронения (пк 3,2–4,8 м). Исходя из априорной информации о составе зондируемой среды, су-

глинки при влажности от 5 до 20 %, характеризуются пониженным (15–30 Ом х м) удельным электрическим сопротивлением и повышенной, от 4,8 до 20 ус. ед. диэлектрической проницаемостью. Соотношения между глубиной исследований и скоростными характеристиками разреза определяется выражениями (Финкельштейн, Кутев, Золотарев, 1986):

$$V = \frac{30}{\sqrt{\epsilon}} \text{ (нс)}; H = \frac{Vt_0}{2} \text{ (м)}.$$

Отсюда точность определения глубины залегания неоднородностей или масштаб глубинной шкалы определяется диэлектрической проницаемостью и точностью её вычисления. При регистрации данных ϵ принималась по умолчанию равной 10 ус. ед. На этапе обработки данный параметр уточнялся при помощи опции «Гипербола», которая автоматически изменяет после определения эpsilon масштабную линейку глубин (см. рис. 5). Реальные значения диэлектрической проницаемости для суглинков в районе Фофановского могильника определялась погодными условиями и колебалась в зависимости от влажности почвенно-растительного слоя в пределах 10–12 ус. ед. В пределах площадки № 3 разрез характеризовался скоростью распространения электромагнитных волн в пределах 8,6–9,5 см/нс и ори-

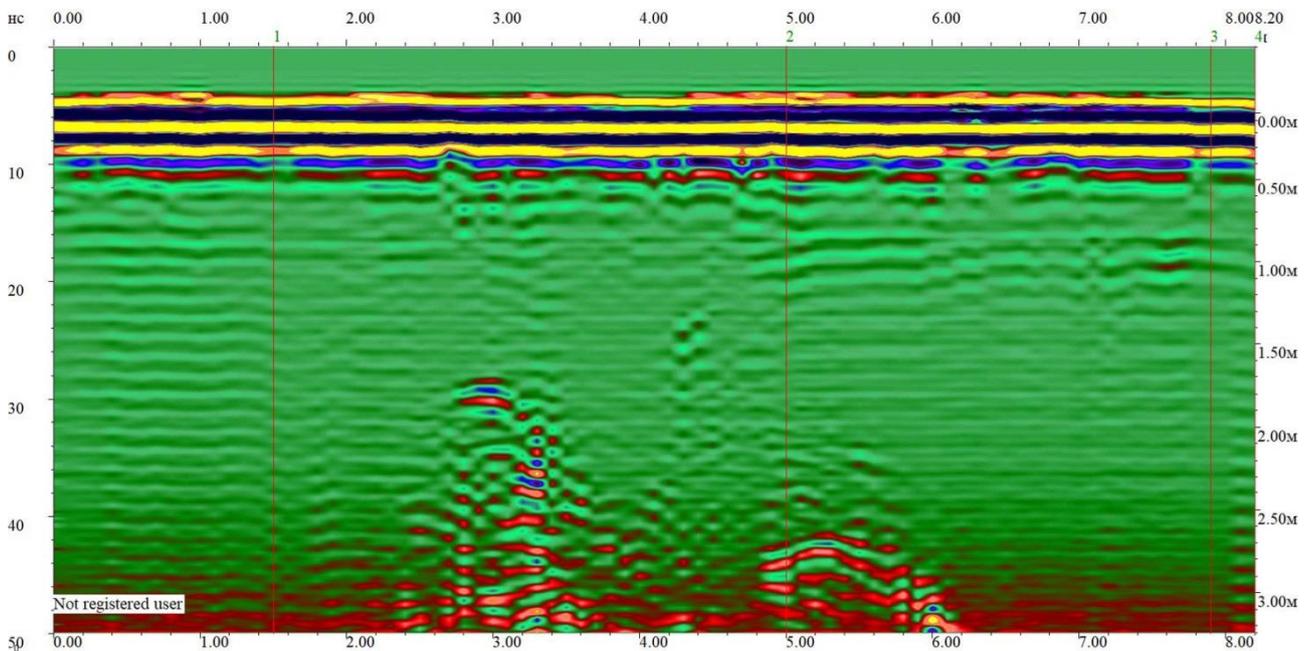


Рис. 5. Радарограмма в пределах захоронения № 3
Fig. 5. Radarogram within burial No. 3

⁶ Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных : учеб. пособие. М. : Изд-во МГУ, 2008. 187 с.

ентировочной глубиной залегания возмущающего объекта 1,1 м. При проведении раскопок на площадках № 2 и № 3 на глубинах 0,7–0,9 м были обнаружены два погребения: № 2 – одиночное и № 3 – коллективное (рис. 6). По мнению Е.Д. Жамбалтаровой, все захоронения можно отнести к «Китайским», возраст которых оценивается в 6000 лет. Места захоронения характеризуются наличием уплотнений, вмещающих делювиальные суглинки средней влажности. Погребальный обряд китойцев Фофановского некрополя имеет следующие основные черты: отсутствие надмогильных каменных кладок; засыпку захоронений охрой; поло-

жение погребенных на боку или на спине, с подогнутыми ногами. Вотивный инвентарь представлен мелкими изделиями: кальцитовыми кольцами, кинжалами с вкладышами, скульптурой головы лося, расщепленными клыками кабана, резцами марала, тарбагана, изделиями из перламутра (Лбова, Жамбалтарова, Конев, 2008).

В целом ГРЛЗ за счет точечной локализации объектов исследований позволяют осуществлять целенаправленное планирование раскопок, существенно снизить объемы горных работ и повысить детальность изучения прилегающих территорий. Это обеспечивается повышением разрешающей спо-



Рис. 6. Одиночное № 2 (а) и коллективное № 3(б) Китайские захоронения
Fig. 6. Single No. 2 (a) and collective No 3 (b) Kitoi burials



Рис. 7. Артефакты, выявленные в пределах захоронений неясной природы
Fig. 7. Artifacts identified within the burial grounds of an unexplained nature

способности метода при увеличении частоты зондирующего импульса. Например, применение антенн с резонансными частотами в единицы ГГц, характеризующихся глубиной исследований первые десятки сантиметров, позволяет оперативно детализировать разрез и контролировать процесс раскопок как по дну выработок, так и по их стенкам. Иначе говоря, такая методика ГРЛЗ позволяет реализовывать один из основных принципов проведения исследований – «от общего к частному». Так, в процессе раскопок одного из захоронений после снятия дернового слоя в непосредственной близости от могил с помощью антенны 1700 МГц было выявлено костровище (см. рис. 2) и несколько артефактов, ненашедших своего отражения на радарограммах, полученных при площадных работах (рис. 7). Правда, генезис и назначение данных феноменов, до настоящего времени не встречавшихся в практике археологических исследований, требуют детального анализа специалистами-археологами, дальнейшего осмысления и расшифровки.

Список источников

Базаров Б.А., Татьков И.Г., Базаров А.Д. Применение методов геофизической разведки в археологии: опыт опережающего изучения археологического памятника Хуннской культуры Забайкалья // Евразия в кайнозое. Стратиграфия, палеоэкология, культуры. 2015. № 4. С. 47–57. EDN: VPUNUP.

Глазунов В.В., Гоц И.А., Кроль Б.И., Самбуев Б.С. Методика поиска склепов Херсонесского некрополя с помо-

Анализ результатов трехлетних работ свидетельствует о высокой эффективности ГРЛЗ при проведении археологических исследований. Из пяти перспективных аномальных участков, намеченных по данным зондирований, – два участка, характеризующиеся интенсивными воздушными помехами и развитием подповерхностных неоднородностей, оказались ложными. На трех – выявлены захоронения и интересные артефакты. Высокая производительность ГРЛЗ (скорость пешеходной съемки 3–4 км/час) обеспечивает экспрессность получения материалов и оперативное планирование производства раскопок, что существенно сокращает объем вскрышных работ. Следует отметить, что захоронения найдены в пределах участка № 5 или в непосредственной близости от него, который считался неперспективным, поскольку находился между площадями раскопок 2007–2008 гг., в пределах которых (см. рис. 1) не было выявлено ни одного захоронения.

References

Bazarov B.A., Tat'kov I.G., Bazarov A.D. (2015) Application of geophysical exploration methods in archaeology: experience of outstripping studies of Xiongnu archaeological monument in Transbaikalia. *Eurasia in the Kynozoy. Stratigraphy, palaeoecology, culture*. No. 4. P. 47-57. (In Russ.). EDN: VPUNUP.

Glazunov V.V., Gots I.A., Krol' B.I., Sambuev B.S. (1981) Method of finding the tombs of the Hersonissos necropolis

щью сейсморазведки // Региональная геология некоторых районов СССР. Вып. 5. М. : МГУ, 1981. С. 93–99.

Дмитриев А.А. Георадарное обследование площадки, прилегающей к Спасской церкви в г. Иркутске // Geomodel 2007 - 9th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development, Sep 2007, cp-331-00020. Gelendzhik, European Association of Geoscientists & Engineers, 2007. DOI: 10.3997/2214-4609.201405417.

Дмитриев А.А. Применение георадиолокационных технологий при решении археологических задач // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 7. С. 12–18. EDN: UBLOGH.

Дмитриев А.Г. Геофизическое обеспечение археологического обследования территории бывшего лютеранского кладбища в г. Иркутске // Известия Лаборатории древних технологий. 2019. Т. 15. № 3. С. 103–114. DOI: 10.21285/2415-8739-2019-3-103-114. EDN: EOQKYK.

Дмитриев А.Г., Богданов А.В., Дмитриев А.А. Геофизические исследования при изучении мест захоронений жертв политических репрессий // Известия Лаборатории древних технологий. 2020. Т. 16. № 3. С. 94–111. DOI: 10.21285/2415-8739-2020-3-94-111. EDN: QBLJKW.

Журбин И.В. Геофизика в археологии. Методы, технологии и результаты применения. Ижевск : Удмуртский институт истории, языка и литературы УрО РАН, 2004. 152 с.

Лбова Л.В., Жамбалтарова Е.Д., Конев В.П. Погребальные комплексы неолита – раннего бронзового века Забайкалья (формирование архетипов первобытной культуры). Новосибирск : Изд-во Ин-та археологии и этнографии, 2008. 247 с. EDN: QPJVRV.

Микляев А.М., Герасимова Н.Г. Опыт применения метода фосфатного анализа при разведке древних поселений на территории Псковской области // Советская археология. 1968. № 3. С. 251–255.

Нерадовский Л.Г. Методическое руководство по изучению многолетне-мерзлых пород методом динамической радиолокации. М. : Изд-во РАН, 2009. 337 с.

Скакун Н.Н., Тарасов В.А. Результаты применения магниторазведки и каппаметрии при исследовании поселения трипольской культуры Бодаки // Археологические вести. СПб. : Институт истории материальной культуры. 2000. Вып. 7. С. 60–69. EDN: TKICTV.

Слукин В.М. Неразрушающие методы исследования памятников архитектуры. Свердловск : Изд-во Уральского университета, 1988. 218, [1] с.

Станюкович А.К. Археологическая геофизика в России // Геофизика. 1996. № 2. С. 57–64. EDN: TOEUOX.

Станюкович А.К. Основные методы полевой археологической геофизики // Естественно-научные методы в полевой археологии. М. : Ин-т археологии РАН, 1997. Вып. 1. С. 19–42.

Старовойтов А.В., Валиуллина К.З., Ошкин А.Н., Пятилова А.М. Строение осадочного чехла на пресноводных озерах полуострова Киндо вблизи Беломорской биологической станции МГУ по данным георадиолокации и бур-

with seismic exploration. *Regional geology of some regions of the USSR*. Iss. 5. Moscow: Moscow State University. P. 93-99. (In Russ.).

Dmitriev A.A. (2007) Radar survey of the site adjacent to the Spassky Church in Irkutsk. *Geomodel 2007 - 9th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development*, Sep 2007, cp-331-00020. Gelendzhik: European Association of Geoscientists & Engineers. (In Russ.). DOI: 10.3997/2214-4609.201405417.

Dmitriev A.A. (2015) Georadar technology application in solving archaeological problems. *News of the Irkutsk State Technical University*. No. 7. P. 12-18. (In Russ.). EDN: UBLOGH.

Dmitriev A.G. (2019) Geophysical support for archeological survey of the territory of former Lutheran cemetery in Irkutsk city. *Journal of the Laboratory of Ancient Technologies*. Vol. 15. No. 3. P. 103–114. (In Russ.). DOI: 10.21285/2415-8739-2019-3-103-114. EDN: EOQKYK.

Dmitriev A.G., Bogdanov A.V., Dmitriev A.A. (2020) Geophysical research in the study of burial places of victims of political repression. *Reports of the Laboratory of Ancient Technologies*. Vol. 16. No. 3. P. 94–111. (In Russ.). DOI: 10.21285/2415-8739-2020-3-94-111. EDN: QBLJKW.

Zurbin I.V. (2004) *Geophysics in Archaeology. Methods, technologies and results of application*. Izhevsk : Udmurt Institute of History, Language and Literature of the Ural Republic of Russia. 152 p. (In Russ.).

Lbova L.V., Zhabaltarova E.D., Konev V.P. (2008) Burial complexes of the Neolithic - early Bronze Age of Transbaikalia (formation of archetypes of primitive culture). *Novosibirsk: Institute of Archeology and Ethnography*. 247 p. (In Russ.). EDN: QPJVRV.

Miklyaev A.M., Gerasimova N.G. (1968) Experience of the use of phosphate analysis method in the exploration of ancient settlements in the territory of the Pskov region. *Soviet Archaeology*. No. 3. P. 251-255. (In Russ.).

Neradovskii L.G. (2009) *Methodological guide for studying perennials-glacial rocks by dynamic radar*. Moscow: Russian Academy of Sciences. 337 p. (In Russ.).

Skakun N.N., Tarasov V.A. (2000) The results of magnetic prospecting and magnetic susceptibility measurements at the Bodaki site. *Archaeological Notes*. St. Petersburg: Institute of Material History. Iss. 7. P. 60-69. (In Russ.). EDN: TKICTV.

Slukin V.M. (1988) *Non-destructive methods of architectural monuments research*. Sverdlovsk: The Urals State University. 219 p. (In Russ.).

Stanyukovich A.K. (1996) Russian Archaeological Geophysics. *Geophysics*. No. 2. P. 57-64. (In Russ.). EDN: TOEUOX.

Stanyukovich A.K. (1997) Basic methods of field archaeological geophysics. *Natural-scientific methods in field archaeology*. Moscow: Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences. Iss. 1. P. 19-42. (In Russ.).

Starovoitov A.V., Valiullina K.Z., Oshkin A.N., Pyatilova A.M. (2019) Sedimentary cover structure of fresh water lakes of Kindo Peninsula near the White Sea biological station of Moscow State University according to georadiolocation and

ния // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2019. № 6. С. 87–98. EDN: VTLSGR.

Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. М.: Недра, 1986. 126, [2] с.

Франтов Г.С., Пинкевич А.А. Геофизика в археологии. Л.: Недра, 1966. 212 с.

Garcia-Fernandez M., Alvarez-Lopez Y., Las Heras F. (2019) Autonomous Airborne 3D SAR Imaging System for Subsurface Sensing: UWB-GPR on Board a UAV for Landmine and IED Detection. *Remote Sensing*, 11(20), p. 235711. DOI: 10.3390/rs11202357.

Kozhevnikov, NO, Kharinsky, AV & Snopkov, SV (2019) Geophysical prospection and archaeological excavation of ancient iron smelting sites in the Barun-Khal valley on the western shore of Lake Baikal (Olkhon region, Siberia). *Archaeological Prospection*, 26(2), p. 103-119. DOI: 10.1002/arp.1727.

McKerrell, H. and McCawley, J. C. (1971) "Soil phosphorus levels at archaeological sites". *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland*, vol. 104, no. 2, pp. 301–306. DOI: 10.9750/PSAS.104.301.306.

Информация об авторах

Дмитриев Александр Георгиевич,

доктор геолого-минералогических наук, профессор
департамента геофизики института «Сибирская школа
геонаук»,

Иркутский национальный исследовательский технический
университет,

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,

e-mail: A.G.Dmitriev@geo.istu.edu,

<https://orcid.org/0000-0002-9178-1169>

Дмитриев Алексей Александрович,

старший преподаватель кафедры электроники и
телекоммуникационных систем,

Иркутский национальный исследовательский технический
университет,

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,

e-mail: dmtaa77@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 12 апреля 2024 г.; одобрена после рецензирования 29 октября 2024 г.; принята к публикации 11 ноября 2024 г.

drilling data. *The Bulletin of the Moscow University. Ser. 4. Geology. No. 6. P. 87-98. (In Russ.).* EDN: VTLSGR.

Finkel'shtein M.I., Kutev V.A., Zolotarev V.P. (1986) Application of subsurface radar sounding in engineering geology. Moscow: Nedra. 126, [2] p. (In Russ.).

Frantov G.S., Pinkevich A.A. (1966) Geophysics in Archaeology. Leningrad: Nedra. 212 p. (In Russ.).

Garcia-Fernandez M., Alvarez-Lopez Y., Las Heras F. (2019) Autonomous Airborne 3D SAR Imaging System for Subsurface Sensing: UWB-GPR on Board a UAV for Landmine and IED Detection. *Remote Sensing*, 11(20), p. 235711. DOI: 10.3390/rs11202357.

Kozhevnikov, NO, Kharinsky, AV & Snopkov, SV (2019) Geophysical prospection and archaeological excavation of ancient iron smelting sites in the Barun-Khal valley on the western shore of Lake Baikal (Olkhon region, Siberia). *Archaeological Prospection*, 26(2), p. 103-119. DOI: 10.1002/arp.1727.

McKerrell, H. and McCawley, J. C. (1971) "Soil phosphorus levels at archaeological sites". *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland*, vol. 104, no. 2, pp. 301–306. DOI: 10.9750/PSAS.104.301.306.

Information about the authors

Alexander G. Dmitriev,

Dr. Sci. (Geological and Mineralogical), Professor of the
Department of Geophysics at the Siberian School of
Geosciences Institute,

Irkutsk National Research Technical University,

83, Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,

e-mail: A.G.Dmitriev@geo.istu.edu,

<https://orcid.org/0000-0002-9178-1169>

Aleksei A. Dmitriev,

Senior lecturer, department of electronic and
telecommunication systems,

Irkutsk National Research Technical University,

83, Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,

e-mail: dmtaa77@gmail.com

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

The authors have read and approved the final manuscript.

Article info

The article was submitted April 12, 2024; approved after reviewing October 29, 2024; accepted for publication November 11, 2024.