

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ
ПЕРИФЕРИИ КУРГАНА ТУННУГ-1**

¹Едемский Д.Е., ¹Попов А.В., ¹Прокопович И.В., ²Садыков Т.Р., ²Блохин Е.К.,
^{3,4}Каспари Дж.

¹ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкова» РАН, Троицк, Москва, e-mail: deedemsky@gmail.com;

²ФГБУН «Институт истории материальной культуры» РАН, Санкт-Петербург,
e-mail: tim.sadykov@gmail.com;

³Институт археологических исследований Бернского университета, Берн, Швейцария,
e-mail: gino.caspari@iaw.unibe.ch;

⁴Департамент археологии Сиднейского Университета, Сидней, Австралия.

В статье приведено обоснование и результаты применения комплекса геофизических методов, в частности магнитометрического метода и георадиолокации для обследования сложной ритуальной и погребальной архитектуры раннескифского кургана Туннуг-1, расположенного долине реки Уюк, Республика Тыва. Общая площадь геофизического обследования составила более 12000 м². Результаты исследований показали, что применение двух геофизических методов, работающих на разных физических принципах, дает достоверное и целостное представление о строении такого сложного захоронения, как раннескифский курган. Георадиолокация позволяет регистрировать отражения от радиоконтрастных границ раздела сред, слоев или объектов с разной проводимостью и диэлектрической проницаемостью, а строительный материал каменных структур памятника обладает разной магнитной восприимчивостью с вмещающей средой, что позволяет магнитометрии надежно локализовать данные археологические объекты. Площадные георадиолокационные и магнитометрические исследования взаимно дополняют друг друга и увеличивают достоверность детального геофизического обследования сложных археологических памятников в непростой, слабо дренированной, заболоченной местности и при наличии многолетних мерзлых грунтов с неравномерной глубиной их оттаивания. Результаты геофизических работ выявили места размещения археологических объектов, что позволит более эффективно и обоснованно выбирать участки для проведения раскопок.

Ключевые слова: магнитная съемка, магнитометр, георадиолокация, георадар, археология, Туннуг, раннескифский курган

**APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS TO THE TUNNUG-1 MOUND
PERIPHERAL SURVEY**

¹Edemsky D.E., ¹Popov A.V., ¹Prokopovich I.V., ²Sadykov T.R., ²Blochkin E.K., ^{3,4}Caspari Dg.

¹Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS,
Moscow, Troitsk, Russia, e-mail: deedemsky@gmail.com;

²Institute for the History of Material Culture, RAS, St. Petersburg, Russia, e-mail:
tim.sadykov@gmail.com;

³Institute for Archaeological Sciences, University of Bern, Bern, Switzerland, e-mail:
gino.caspari@iaw.unibe.ch;

⁴Department of Archaeology, University of Sydney, Sydney, Australia

The article presents the results of applying different geophysical approaches, in particular, magnetometry and ground penetrating radar (GPR) to study complex ritual and funeral architecture of the early Scythian mound Tunnug-1 located in the Uyuk river valley, the Republic of Tuva. The total area of the geophysical survey was more than 12 000 m². The results of the survey show that the use of two geophysical methods, with different physical principles, gives a reliable and full view of the structure of such a complex burial as an early Scythian mound. GPR probing allows recording reflections from radio-contrast interfaces of media, layers or objects with different conductivity and dielectric permittivity. The building material of the stone structures of the monument has a different magnetic susceptibility with the surrounding medium, which allows magnetometry to reliably localize these archaeological objects. GPR and magnetometric areal measurements complement each other and increase the reliability of a detailed geophysical study of complicated archaeological

objects in difficult, poorly drained, swampy areas and in the presence of permafrost with unequal depth of thawing. The results of geophysical work revealed the location of archaeological sites, which will allow more efficient and justified select of sites for excavation.

Keywords: magnetic survey, magnetometer, GPR, georadar, archeology, Tunnug, Early Scythian mound

1. Введение

Курган Туннуг-1 (рис.1) расположен в болоте долины реки Уюк, Республика Тыва. Конструкция этой скифской гробницы похожа на самый ранний идентифицированный скифский курган Аржан-1 [1], имеет правильную круглую форму диаметром более ста метров, высота над современной поверхностью – чуть более метра. Туннуг-1 относится к древнейшему скифскому культурному горизонту и потенциально предшествует Аржану-1. Курган нужно рассматривать как сложный археологический памятник, состоящий из самого кургана и прилегающих к нему сооружений и территорий – так называемой периферии кургана. Объектами периферии большого кургана могут являться рвы, валы, жертвенные комплексы, ритуальные дороги, каменные площадки и каменные кольца, опоясывающие курган.

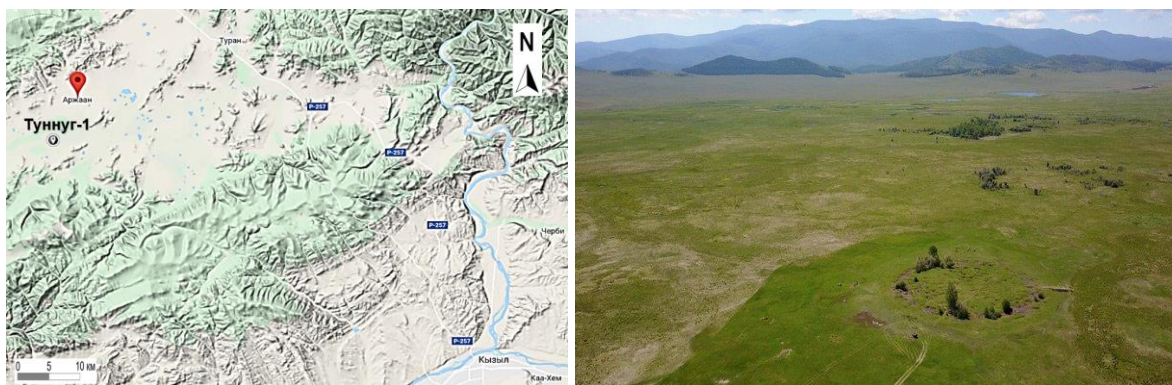


Рис.1. Аэрофотоснимок кургана Туннуг-1.

2. Постановка задачи

Такие сложные археологические объекты, как курган и его периферия, разнообразны по составу, структуре и, как следствие, обладают различными электрическими, магнитными, гидрогеологическими, литологическими характеристиками. Исходя из этого, для получения наиболее полных и объективных результатов исследования вполне обоснованным является применение комплексного подхода, при котором различные геофизические методы совместно используются [2,3,4] для зондирования подповерхностной среды и изучения археологического памятника.

Длительное время изучению периферии курганов придавалось минимальное значение. Но именно здесь могут встречаться следы поминальной тризны, выраженные кострищами, вымостками, культовыми площадками и ритуальными подзахоронениями как людей, так и животных, содержащие большое разнообразие сопровождающего инвентаря. Все эти конструкции и объекты являются свидетельствами религиозно-культовой практики погребально-поминального цикла древних кочевников, фиксация и исследование которых

могут внести значительный вклад в вопросы интерпретации мировоззрения населения скифского мира. Следует отметить, что территория в непосредственной близости к кургану использовалась как место культовых мероприятий и ритуальных подзахоронений племенами, проживающими в данной местности и в более поздние времена.

3. Методы и условия проведения измерений

Одним из возможных способов исследований периферии кургана является применение геофизических методов, в частности магнитометрического метода [5], основанного на выявлении аномалий (в непосредственной близости от археологических объектов) в магнитном поле земли путем измерения вектора магнитной индукции (модуля либо составляющих этого вектора). Физическими причинами появления аномалий магнитного поля над археологическими объектами являются повышение или понижение магнитных свойств археологических объектов по сравнению с вмещающей их природной средой. Другим возможным к применению геофизическим методом является георадиолокация – эффективный метод инженерно-геотехнического обследования грунтов на глубинах от нескольких сантиметров до десятков метров. Принцип действия георадаров основан на излучении сверхширокополосных электромагнитных импульсов в подстилающую среду и регистрации отражений от радиоконтрастных границ раздела сред, слоев или объектов с разной проводимостью и диэлектрической проницаемостью.

Для проведения обследования вокруг кургана с учетом мозаичности археологических раскопов [6, 7] обследуемая территория была разбита на пятнадцать участков размерами от 8×16 до 40×48 м так, чтобы охватить всю площадь периферии кургана (рис. 2,4), где возможно размещение объектов религиозно-культовой практики кочевников. В южной части памятника участки №1-3, а с восточной и западной сторон участки № 13-15 примыкают к основному раскопу 2018г. Работы по обследованию периферии кургана были проведены в период с 08.05.2019г. по 25.05.2019г. Общая площадь геофизического обследования составила более 12000 м².

3.1. Магнитометрия

При магнитометрическом обследовании объектов чаще всего используют протонные или квантовые магнитометры, именно эти приборы обладают наибольшей чувствительностью и точностью при измерении модуля вектора магнитной индукции. Магнитометрическое картирование Туннуг-1 выполнялось с использованием протонного магнитометра МИНИМАГ. Этот прибор, являющийся одним из наиболее чувствительных и точных в настоящее время и используется как в научных, так и археолого-геофизических исследованиях с 2006 г. К преимуществам данного прибора можно отнести высокую надежность,

стабильность и высокую чувствительность. Конструкция прибора позволяет выполнять съемку в движении и обеспечить расстояние от датчика до поверхности земли 0.3–0.4 м.

Для компенсации краткосрочных и суточных вариаций магнитного поля земли в результатах измерений был применен базовый магнитометр, установленный в непосредственной близости от объекта. Работам на объекте была оказана методическая поддержка со стороны Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН в части прогноза магнитной активности и предупреждения возникновения магнитных бурь, в период которых проведение измерений нецелесообразно.

3.2. Георадиолокация

В данных исследованиях применялся георадар повышенной мощности серии «Лоза» [8]. Применение антенной системы с центральной частотой 300 МГц обеспечило эффективное зондирование на глубинах от десятков сантиметров до 2-3 м.

При обработке и интерпретации полученных данных основное внимание было уделено выделению слоев и их границ, приведению радарограммы к истинному масштабу глубин с учетом скорости распространения сигнала в среде. Слои георадарного разреза выделялись с помощью процедуры разграничения максимумов и минимумов сигнала, выделения осей синфазности сигнала и их анализа, представления разреза как в линейном режиме, так и в режиме производной функции амплитуды сигнала – процедур, реализованных в применяемом программном обеспечении «Крот» [8].

Для правильной интерпретации полученных радиолокационных профилей и восстановления по ним геологических структур на характерных участках периферии кургана было проведено зондирование по методу общей глубинной точки (ОГТ) [9], позволяющему определить скорость электромагнитных волн в среде и пересчитать георадарный разрез из масштаба времен в масштаб глубин без привлечения априорной информации.

4. Результаты

4.1. Геомагнитная площадная съемка

Участки для обследования были размечены с четкой привязкой к топографическому плану и с учетом передвижения оператора по параллельным профилям, проложенным в направлении с юга на север. Пространственная привязка пикетов выполнялась оператором вручную через 0.25 или 0.5 м. Длина профиля определялась размерами участка и варьировалась в пределах от 8 до 40 м. Расстояние между профилями составляло 0.5 м.

После обработки полученной информации была построена карта магнитного поля обследованных участков (рис. 2). Карта магнитной съемки кургана характеризуется неравномерным расположением локальных неоднородностей, со значениями магнитного поля от долей нТл до сотен нТл относительно фона (60300 нТл). Такая неоднородная картина

связана с неравномерным распределением каменных структур вокруг кургана, а также с неравномерной магнитной восприимчивостью отдельных камней, формирующих данные структуры. Проведенный анализ отдельных образцов показал, что большая часть камней, обследованных на раскопе, обладает слишком низкой магнитной восприимчивостью для уверенной их регистрации в процессе съемки. Количество помех, связанных с присутствием в грунте черного металла минимально.

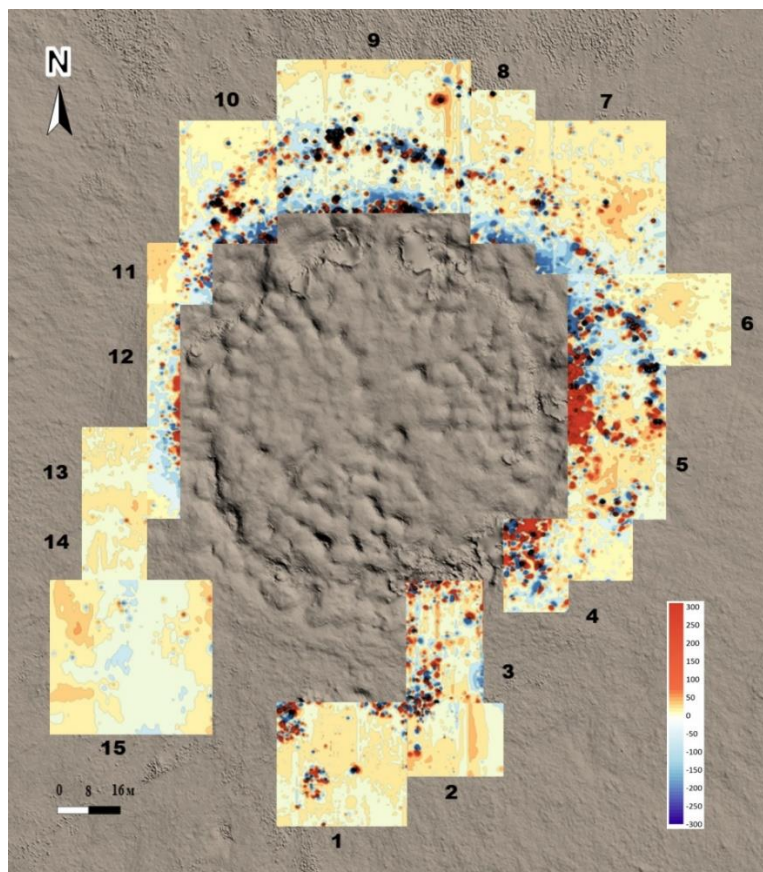


Рис.2. Магнитная карта периферии кургана: 1-15 – геофизические участки с результатами магнитной съемки.

На магнитограмме участков, вытянутых вдоль северного и восточного края кургана, отчетливо фиксируется каменное кольцо в виде прерывистой полосы вытянутых аномалий. Данная структура наблюдается от участков №3, №4 до участка №10, кольцо располагается на расстоянии 12-16 м от вала, опоясывающего курган.

На юге кургана можно выделить участки №№1-3, на которых отчетливо фиксируются локальные каменные структуры диаметром 8-10 м, некоторые из которых частично, попадают на раскопы. Отдельные каменные структуры расположены достаточно близко друг к другу, образуя единый объект. На участках от №6 до №10 включительно, за пределами каменного кольца ярко выраженных магнитных аномалий не зарегистрировано. На участках №13-15 результаты магнитометрических исследований каменных структур не выявили.

Следует отметить, что особенностью данной экспедиции является привлечение сразу двух независимых магнитометрических исследований, затрагивающих одни и те же участки – результаты параллельной магнитометрической съемки изложены в работе [10]. Полученные нами данные и результаты работы [10] близки и отражают основные особенности периферии погребального комплекса, они довольно интересны с методологической точки зрения, так как работы проводились на отличающихся по конструкции приборах, а для обработки и представления итоговых результатов использовались различные подходы.

4.2. Георадиолокационная площадная съемка

Георадарное обследование периферии кургана проводилось методом площадной съемки; выбранный участок разбивался на ряд параллельных профилей, разнесенных на 0.5 м, с фиксированным шагом измерений 0.25 м вдоль профиля.

На основании полученных данных строилась трехмерная модель (3D) участка. На рис. 3 приведен пример 3D модели одного из 15 обследованных участков, которая позволяет анализировать объемное строение участка послойно; для анализа можно использовать как горизонтальные OXY , так и вертикальные X_1 , Y_1 разрезы.

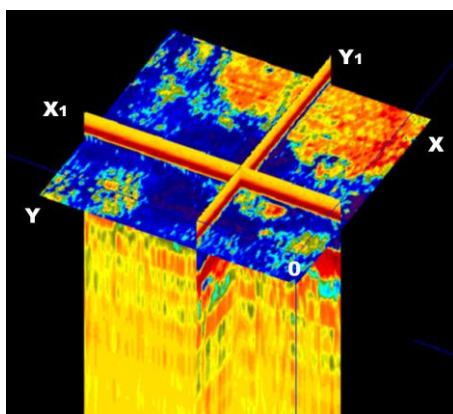


Рис. 3. 3D модель участка №1.

По результатам георадарного зондирования участков сформирована единая 3D модель периферии кургана. Разрез в плоскости XY для 3D георадарной модели периферии кургана по уровню 15 нс (~0.5 м) представлен на рис. 4. Цветом выделена амплитуда отраженного зондирующего сигнала от локальных объектов, неоднородностей и границ раздела отдельных слоев почвенно-грунтовой толщи. Анализ 3D модели и отдельных радарограмм позволяет локализовать места размещения неоднородностей, их геометрические размеры и глубину залегания в подповерхностной среде.

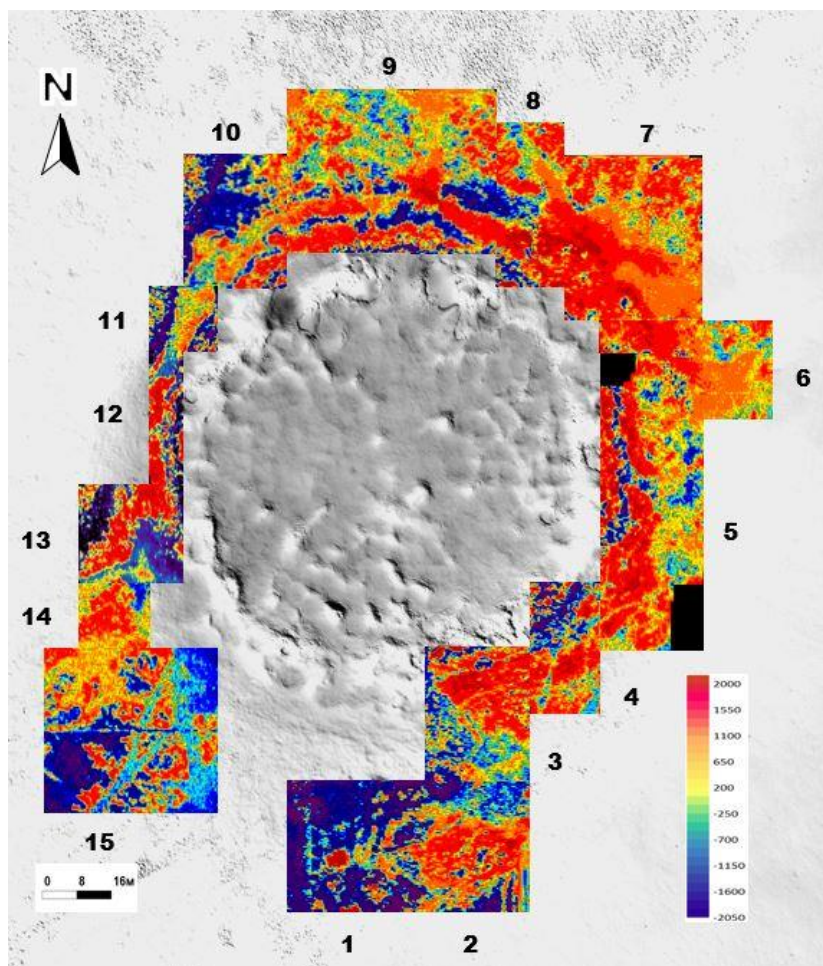


Рис. 4. Результаты георадарного зондирования. Горизонтальный срез на отметке 15 нс (~0.5 м): 1-15 – геофизические участки с результатами георадарного зондирования.

Анализ радарограмм более сложен по сравнению с магнитометрическими данными, т.к. георадар не только фиксирует отражение от локальных радиоконтрастных объектов, привнесенных в зондируемую среду, но и от всех радиоконтрастных неоднородностей среды, вызванных изменением структуры подстилающей поверхности, влажности отдельных слоев, уровня промерзания грунта и т.д.

На юге кургана, на участке №1 и на границе участков №2 и №3, без проведения дополнительной обработки можно выделить локальные аномалии диаметром 8-10 м, которые по месту размещения совпадают с выявленными на магнитограммах объектами. На участках, расположенных на севере и востоке периферии кургана, устойчиво фиксируется аномалия в виде полосы шириной до 8 м, расположенная на расстоянии до 10-12 м от вала, опоясывающего курган. Данная структура фиксируется на участках №8 - №13. Результаты зондирования также содержат информацию о геологическом строении подповерхностной среды вокруг памятника, позволяют выделить зоны с нарушением субгоризонтальной слоистости среды, локализовать зоны повышенной влажности, зоны оттаивания мерзлых грунтов.

5. Обсуждение результатов

5.1. Среда обследования

Подстилающая среда обследуемого объекта, представляет собой почвенно-грунтовую толщу, имеющую субгоризонтальную структуру (рис. 5), состоящую из современного гумусового горизонта, однородного серо-желтого суглинистого горизонта почвообразующей породы, маломощной погребенной лугово-аллювиальной почвы и толщи чередующихся прослоев песка и суглинка с хорошо выраженным прослоем ожелезненного тонкозернистого песка на глубине около 0.8 м, ниже которого расположен слой, содержащий в себе большое количество включений щебня и дресвы (русловой аллювий) [7]. Подстилающая среда памятника в естественном состоянии не содержит вмещающих объектов в виде каменных структур или отдельных камней.



Рис. 5. Геологический разрез, раскоп. Современный почвообразующий слой удален.

На радиобраз субгоризонтальной структуре подстилающей поверхности оказывает влияние неравномерность влагонасыщенности грунта. Изменение характера слоистости подстилающей поверхности, рис. 6, происходит из-за естественного неравномерного оттаивания почвы в зависимости от состояния травяного покрова (1), (2) или в результате воздействия человека на растительный покров – вытаптывание травы (тропинка), уплотнение почвы и, как следствие, ускоренное оттаивание мерзлой поверхности земли (3).

На территории периферии кургана на момент проведения измерений (май 2019г.) глубина оттаивания грунта зависела от состояния травяного покрова. В местах с густым сухим травяным покровом глубина оттаивания составляла 0.1-0.15 м, с менее густым покровом и на южной стороне кургана глубина оттаивания составляла 0.2-0.35 м, а в местах, лишенных термоизолирующего покрова из сухой травы глубина оттаивания была более 0.5 м. Наибольшая увлажненность почвы наблюдалась в местах с большой глубиной оттаивания. По результатам проведенного зондирования по методу ОГТ радиолокационная скорость (в два раза выше скорости радиоволны в среде) зондирующего сигнала в оттаявшем влагонасыщенном грунте, составляет около 4 см/нс, тогда как в более сухих местах эта скорость достигает 6.4-9.6 см/нс.

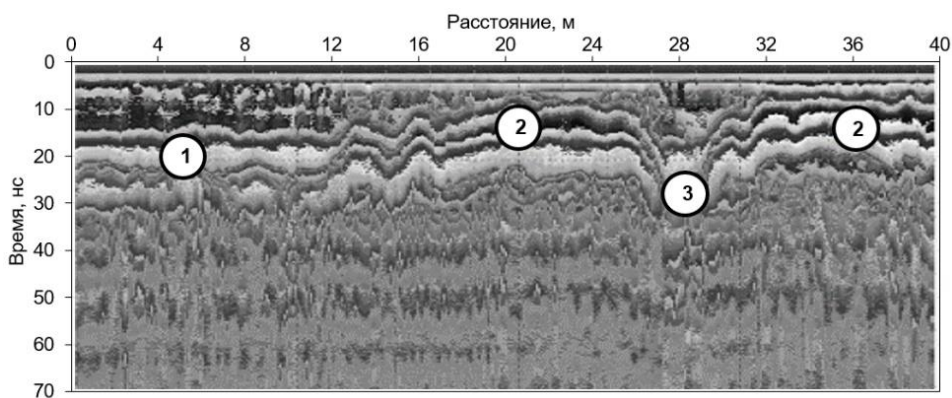


Рис. 6. Участок №15, георадарный профиль с субгоризонтальной структурой подстилающей поверхности: 1 – зона с регулярной структурой повышенной влажности, с глубиной оттаивания более 0.5 м; 2 – зона с регулярной структурой малой увлажненности и малой глубиной оттаивания; 3 – тропа, оттаявший уплотненный грунт с повышенной влажностью.

5.2. Выделение объектов

Подтверждением наличия объектов на георадарных профилях при субгоризонтальной структуре подстилающей поверхности являются радиофизические признаки — нарушение осей синфазности, особенности формы сигнала, многочисленные сдвиги по фазе сигнала и наличие кратных переотражений сигнала. Площадные горизонтальные разрезы в плоскости XY позволяют локализовать объекты в плане по характерным признакам (размеры, форма, глубина залегания), а георадарные профили (плоскость XT) позволяют, опираясь на радиолокационные признаки выявлять объекты, определять их размеры, особенности строения и уточнять природу аномалии.

На аэрофотоснимок, рис. 7.1, южной части периферии кургана наложен георадарный разрез 3D модели участка №1 на отметке 16 нс (~0.5 м). На разрезе четко просматриваются две аномалии (выделены пунктиром). Одна из них расположена на стыке участка с раскопом и является продолжением уже вскрытой каменной насыпи, а вторая диаметром ~8 м располагается в середине участка и предположительно является конструктивной основой захоронения, выложенного из камня.

При смещении горизонтального разреза XY на 3D георадарной модели на отметку 21 нс (~0.7 м), рис. 7.2, в середине разреза фиксируется еще один объект, более контрастный, чем каменная насыпь, и имеющий выраженную прямоугольную форму, который, предположительно, является захоронением. В восточной части участка №1 глубина оттаивания мерзлых грунтов выше, чем на остальном участке из-за густого травяного покрова и составляет ~0.5 м, что зафиксировано на георадарном разрезе в виде увеличения амплитуды отраженного от этой границы зондирующего сигнала (красный, желтый цвет). На горизонтальном разрезе 3D модели, отметка 27 нс (~1.0 м), рис. 7.3, в центре участка уже

одновременно наблюдаются два объекта, расположенных в непосредственной близости друг к другу и ориентированных по линии север-юг. При анализе разрезов с большей величиной задержки, например, на отметке 41 нс (~1.6 м), уже наблюдается только один объект, что говорит о разной глубине залегания расположенных рядом объектов.

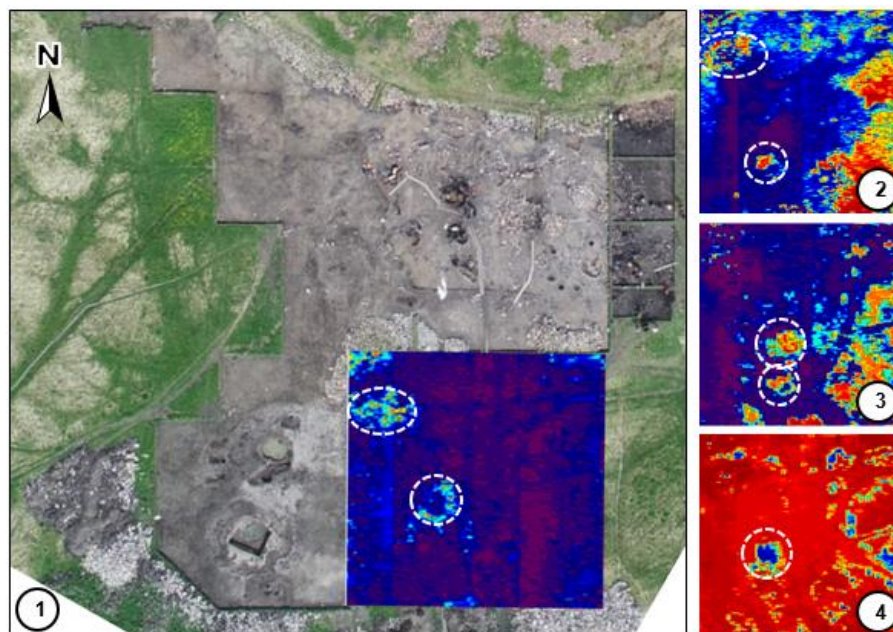


Рис. 7. Участок №1. Аэрофотоснимок раскопа кургана с разрезами в плоскости XY 3D модели: 1 – аэрофотоснимок с георадарным разрезом 16 нс (~0.5 м); 2 – георадарный разрез 21 нс (~0.7 м); 3 – георадарный разрез 27 нс (~1.0 м); 4 – георадарный разрез 41 нс (~1.6 м).

Применение двух геофизических методов магнитометрии и георадиолокации при проведении обследования периферии кургана значительно улучшает качество и повышает достоверность полученных результатов. По итогам магнитного обследования в центре участка №1, рис. 8б, обнаружена каменная структура (насыпь) в форме эллипса, но, исходя из магнитометрических данных сказать о наличии захоронения под каменной насыпью, его размерах, глубине залегания нельзя. Этой структуре на георадарном разрезе XY 3D модели участка, рис. 8а, соответствуют два объекта. Объект (2) на георадарном профиле, рис. 8в, по бокам ограничен двумя наклонными стенками, формирующими погребальную яму, а «звон» сигнала говорит о наличие на глубине порядка 1.2-1.4 м полости с разуплотненным грунтом или наличие двух локальных контрастных границ. Объект (1), вероятно, находится вне каменной насыпи поскольку в явном виде отсутствует радиообраз каменной насыпи, глубина залегания объекта, исходя из рис. 8в, не превышает 1.0 м. Можно предположить, что объект (2) относится к более раннему захоронению, чем объект (1).

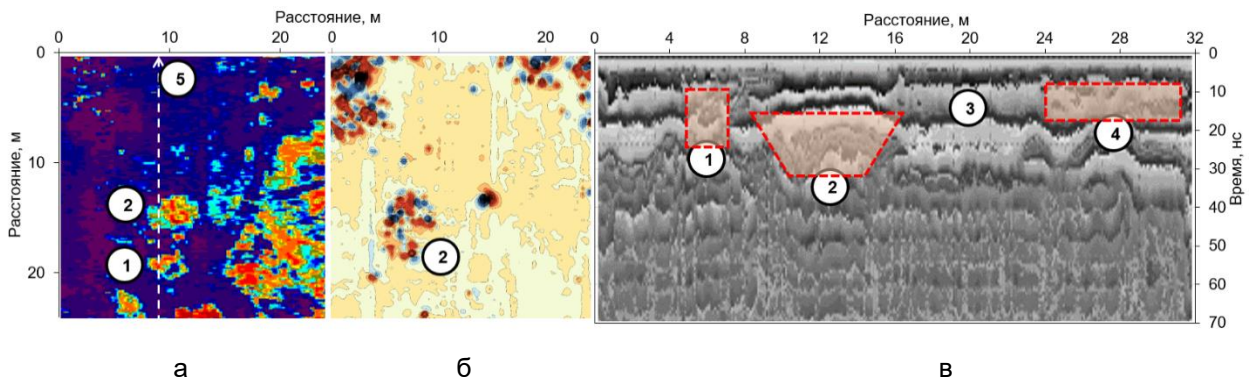


Рис. 8. Участок №1: 1, 2, 4 – археологические объекты; 3 – зона с ненарушенной субгоризонтальной структурой подстилающей поверхности; а) – горизонтальный георадарный XY разрез на отметке 27 нс (~1.0 м); б) – геомагнитная карта участка; в) – георадарный профиль по трассе (5).

На магнитограмме участка №2-3 более четверти площади занимает каменная насыпь, рис. 9б, однако только георадиолокация позволяет локализовать место размещения погребальной ямы под каменной структурой и определить ее размеры, рис. 9а. На георадарном профиле, рис. 9в, на фоне ненарушенной субгоризонтальной структуры подстилающей поверхности (3) четко фиксируется вертикальный разрез захоронения (1), по краям которого наблюдаются неоднородности V-образной формы, которые характерны для тонких вертикальных стенок. Можно предположить наличие вертикально расположенных камней, фиксирующих границы захоронения. Глубина основания захоронения 1.0-1.2 м, диаметр погребальной ямы 8-9 м.

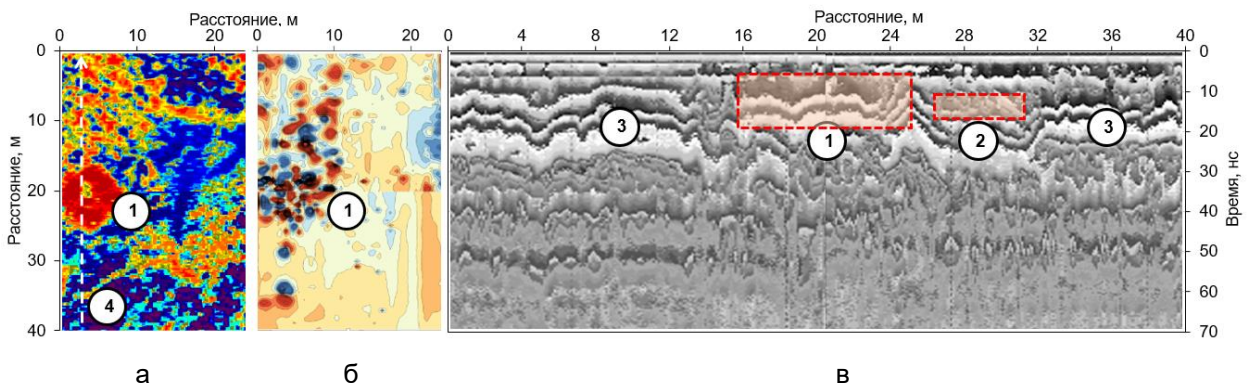


Рис. 9. Участок №2-3: 1, 2 – археологические объекты; 3 – зона с ненарушенной субгоризонтальной структурой подстилающей поверхности; а) – горизонтальный георадарный XY разрез 3D модели на отметке 20 нс; б) – геомагнитная карта участка; в) – фрагмент георадарного профиля по трассе (4).

Магнитометрия позволяет локализовать только те археологические объекты, в состав которых входят конструкции из магнитоконтрастных материалов, в данном случае, каменных структур. Применение георадиолокации может дополнить результаты магнитометрии в

случае, если археологический объект радиоконтрастен относительно вмещающей его среды. На магнитограммах участков, рис. 2, вытянутых вдоль северного и восточного края кургана, отчетливо фиксируется каменный пояс в виде прерывистой полосы вытянутых аномалий, расположенных на расстоянии 12-16 метров от вала, опоясывающего курган. Один из элементов данной конструкции приведен на рис. 10б. Результаты георадиолокации, рис. 4, не выявили каких-либо значимых нарушений субгоризонтальной слоистости подповерхностной среды под каменным поясом. Однако, на радарограммах зафиксировано, что между валом и каменным кольцом кургана наблюдаются нарушения регулярной слоистости георадарного разреза шириной 6-8 м, правильной трапецевидной формы (1) с вмещающим грунтом повышенной влажности, фрагмент которого приведен на рис. 10а. По своему строению данная конструкция напоминает ров или погребенное русло реки вокруг кургана, в отдельных местах глубиной до 1.5 м, а на части участков сильно разрушен и практически не наблюдается. Вероятно, изъятый грунт был использован для создания вала вокруг кургана или строительства самого кургана.

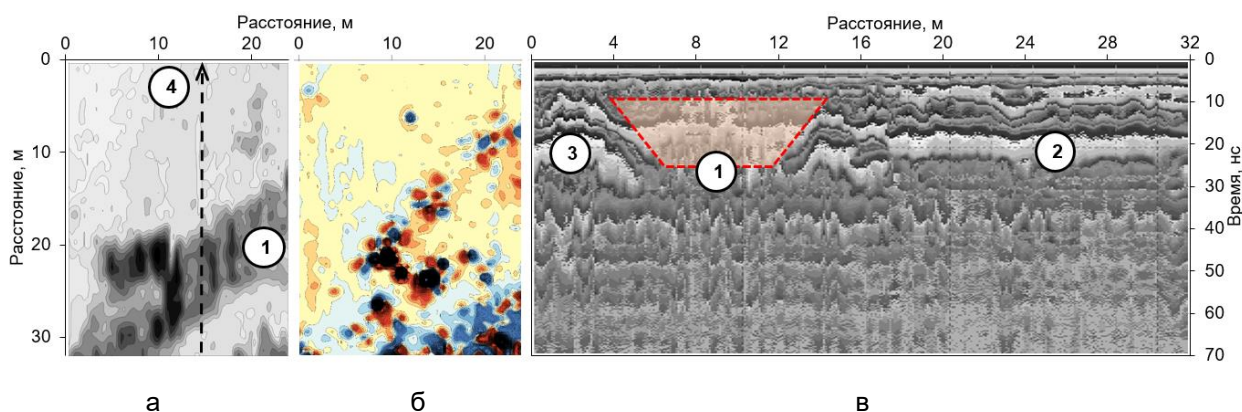


Рис. 10. Участок №10: 1 – погребенный ров; 2 – ненарушенные субгоризонтальные радиоконтрастные слои; 3 – вал вокруг кургана; а) – георадарный 3D образ рва, опоясывающего курган для участка; б) – геомагнитная карта участка с фрагментом каменного кольца; в) – георадарный профиль по трассе (4).

Приведенные результаты обследования подповерхностной среды двумя геофизическими методами – георадиолокацией и магнитометрией показали эффективность их совместного использования при изучении периферии раннескифского кургана. С помощью магнитометрии удалось локализовать каменное кольцо вокруг кургана, а благодаря георадиолокации – обнаружить ров между валом и каменным кольцом.

6. Выводы

Применение двух геофизических методов, работающих на разных физических принципах зондирования, дает достоверное и целостное представление о строении периферии такого сложного захоронения, как раннескифский курган Туннуг-1. Георадиолокация и

магнитометрия взаимно дополняют друг друга, и увеличивают шанс на успех при геофизическом обследовании сложных археологических памятников в непростой, слабо дренированной, заболоченной местности и при наличии многолетних мерзлых грунтов с неравномерным по площади оттаиванием.

Метод геомагнитометрии с большой достоверностью фиксирует каменные структуры памятника, а георадиолокация позволяет детально изучать конструкцию и геометрию захоронений, объекты, не содержащие магнитоконтрастных материалов. С помощью георадиолокации локализуются места проведения земляных работ (нарушения субгоризонтальных структур подстилающей поверхности), тем самым может быть получена дополнительная информация для понимания процесса создания памятника.

Применение геофизических методов привело к обнаружению ряда каменных структур на южной периферии кургана, хорошо сохранившегося каменного кольца в южной и западной частях периферии кургана, погребенного рва, возможно, русла реки, между валом и каменным кольцом глубиной до 1.5 м.

Работы выполнены при поддержке РФФИ, грант №18-02-00185 и содействии Экспедиционного центра МО РФ и Российского географического общества.

Список литературы

1. Грязнов М.П. Аржан – царский курган раннескифского времени. Л.: Наука, 1980. 62 с.
2. Buzin V., Edemskij D., Gudoshnikov S., Kopeikin V., Morozov P., Popov A., Prokopovich I., Skomarovsky V., Melnik N., Berkut A., Merkulov S., Vorovsky P., Bogolyubov L. Search for Chelyabinsk Meteorite Fragments in Chebarkul Lake Bottom (GPR and Magnetic Data) // Journal of Telecommunications and Information Technology. 2017. No. 21. – P. 69-78. DOI: 10.26636/jtit.2017.120817.
3. Caspari G., Sadykov T., Blochin J., Buess M., Nieberle M., Balz T. Integrating Remote Sensing and Geophysics for Exploring Early Nomadic Funerary Architecture in the “Siberian Valley of the Kings”. // Sensors. V. 19(14). Pii: E3074. DOI: 10.3390/s19143074.
4. В. Бузин, В. Гарбацевич, Д. Едемский, А. Попов, И. Прокопович, А. Хуторской Применение высокоточной магнитометрии и мощного георадара для поиска объектов военной-технической истории. // Военная археология. 2018. №5 (56), С. 20-27.
5. Фассбиндер Й. Магнитометрия в археологии – от теории к практике. // // Российская археология. 2019. Вып. 3. С. 75-91. DOI: 10.31857/S086960630005672-8.
6. Caspari G., Sadykov T., Blochin J., Hajdas I. Tunnug 1 (Arzhan 0) – an early Scythian kurgan in Tuva Republic, Russia // Archaeological Research in Asia. 2018. V. 15. P. 82–87. DOI: 10.1016/j.ara.2017.11.001.
7. Садыков Т.Р., Каспари Дж., Блохин Е.К. Раннескифский курган Туннуг-1: результаты первых работ на южной периферии памятника // Теория и практика археологических исследований. 2019. Т. 25, №1. С. 29–38. DOI: 10.14258/tpai(2019)1(25).-03.
8. Сайт ООО «Компании ВНИИСМИ» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.geo-radar.ru/> (дата обращения: 05.10.2019).
9. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.

10. Ельцов М.В. Почвенно-археологические исследования кургана Туннуг-1 (Республика Тыва) // Археология поймы рельеф, палеосреда, история заселения. Тезисы научного семинара. Москва, ИА РАН, 2019. С. 31–34.