

Посвящается 270-летию МГУ имени М.В. Ломоносова

УДК 902.2+550.8+528.85+631.4

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-5-3-12

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КУРГАННОГО НЕКРОПОЛЯ
ГНЕЗДИЛОВО-12 (СУЗДАЛЬСКОЕ ОПОЛЬЕ)****Игорь Николаевич Модин¹, Владимир Анатольевич Шевченко²✉,
Сергей Анатольевич Ерохин³, Анна Михайловна Красникова⁴**¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; imodin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9491-2486>² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, Институт археологии РАН, Москва, Россия; shevchenkov.a@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-5368-8716>³ Институт археологии РАН, Москва, Россия; seroh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5150-3092>⁴ Государственный исторический музей, Москва, Россия; krasnikova.an@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3025-6803>

Аннотация. В работе представлены результаты геофизических исследований полностью разрушенного распашкой некрополя Гнездилово-12. Демонстрируется высокая степень корреляции данных геофизики с результатами археологических раскопок, карт XIX в. и распределением подъемного материала. Для Европейской части России исследования Гнездилово-12 являются одним из первых примеров полномасштабного геофизического изучения разрушенного погребального памятника, позволившего определить его границы и структуру, а также провести обоснованную 3D реконструкцию курганного ландшафта.

Ключевые слова: геофизика в археологии, электротомография, магниторазведка, Суздальское Ополье, геоархеология

Для цитирования: Модин И.Н., Шевченко В.А., Ерохин С.А., Красникова А.М. Геофизические исследования курганного некрополя Гнездилово-12 (Суздальское Ополье) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 5. С. 3–12.

**GEOPHYSICAL INVESTIGATION OF GNEZDILOVO-12 BURIAL MOUND
NECROPOLIS (SUZDAL OPOLIE)****Igor N. Modin¹, Vladimir A. Shevchenko²✉, Sergey A. Erokhin³, Anna M. Krasnikova⁴**¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; imodin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9491-2486>² Lomonosov Moscow State University; Institute of Archaeology RAS, Moscow, Russia; shevchenkov.a@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-5368-8716>³ Institute of Archaeology RAS, Moscow, Russia; seroh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5150-3092>⁴ State Historical Museum, Moscow, Russia; krasnikova.an@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3025-6803>

Abstract. We present the results of geophysical survey of the burial mound necropolis Gnezdilovo-12, which has been completely destroyed by ploughing. The results of geophysical data interpretation are compared with the results of archaeological excavations, XIX c. maps and surface artefacts distribution, showing good correlation between the datasets. For the European part of Russia the investigation of Gnezdilovo-12 is one of the first examples of full-scaled geophysical survey of the destroyed burial site, which enabled the confident interpretation of the site structure and 3D reconstruction of the burial mound landscape.

Keywords: geophysics in archaeology, electrotomography, magnetic prospection, Suzdal Opolie region, geoarchaeology

For citation: Modin I.N., Shevchenko V.A., Erokhin S.A., Krasnikova A.M. Geophysical investigation of Gnezdilovo-12 burial mound necropolis (Suzdal Opolie). *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 5: 3–12. (In Russ.).

Введение. Возможности археологических методов при изучении памятников, разрушенных распашкой, часто ограничены. При низкой результативности сборов подъемного материала [Banning et al., 2011] происходит увеличение общего объема раскопок за счет необоснованного выбора места их проведения. Также недостаточной оказывается информация о памятнике в целом, так как иногда лишь небольшая часть может быть закрыта раскопками.

Описанная ситуация характерна для некрополей IX–XII вв. в Суздальском Ополье. Одним из фокусов исследования этих памятников являются погребения, совершенные по курганному обряду: их эволюция отражает особенности социальных и этнических процессов в регионе [Макаров, 2019; Макаров и др., 2020]. Интенсивная многовековая распашка уничтожила курганные насыпи, в настоящее время лишь несколько памятников видны на

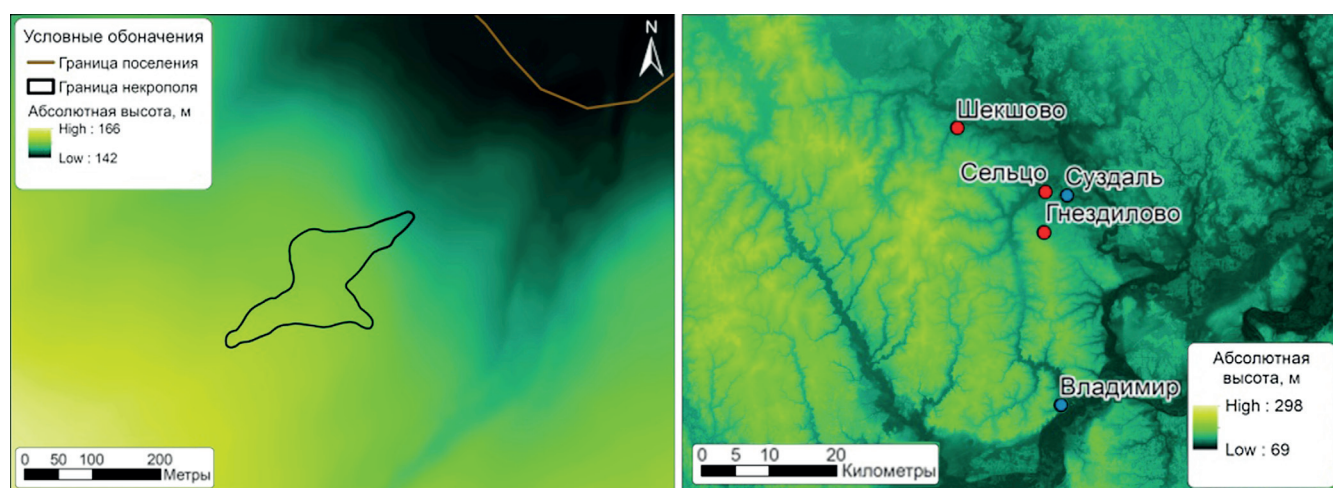


Рис. 1. Рельеф ландшафта Гнездилово-12 и границы памятника по результатам исследований (слева), положение исследованных памятников на региональной топографической карте (справа)

местности, потенциал их археологического изучения в значительной степени исчерпан.

Для решения проблемы поиска и исследования невыраженных на поверхности курганных некрополей Суздальского Ополя была разработана технология, основанная на геофизических методах исследований [Модин и др., 2020; Красникова и др., 2020]. Из-за отсутствия каменного материала (контрастных объектов) и особенностей почвенного покрова объекты некрополя не выделяются в данных дистанционного зондирования, оставляя геофизические методы единственным инструментом решения описываемой проблемы. Технология исследования невыраженных на поверхности некрополей была разработана на основании материалов исследований только одного памятника — некрополя Шекшово-9. В настоящей работе описываются результаты исследования Гнездилово-12 [Макаров и др., 2021].

Геофизические методы сравнительно широко применяются для исследования погребальных памятников, включая курганные некрополи [Schmidt et al., 2015; Bewan, 1991; Moffat, 2015; Sarris, Papadopoulos, 2012; Чемякина, 2008; Коробов и др., 2020; Romaniszyn et al., 2021; Green et al., 2021]. Можно выделить две основные проблемы, стоящие перед геофизикой при решении задач данного направления. Во-первых, разница в свойствах фоновых геолого-почвенных отложений и археологических объектов определяют специфичность методики и разную эффективность исследований для каждого региона. При отсутствии сильно контрастных объектов построение методики исследования и ее тестирование для нового региона является самостоятельной научной задачей. Настоящая работа призвана внести вклад в ее решение для Суздальского Ополя.

Во-вторых, большинство геофизических исследований некрополей носит фрагментарный, методический характер, охватывая небольшую часть памятника. Сравнительно редки исследования, делающие следующий шаг — проверку разрабо-

танной модели на всей площади памятника или на нескольких памятниках. Тем не менее, они представляются наиболее важными. С одной стороны, для заключения выводов о достоверности эксперимента требуется набор опытов, что может быть получено только за счет достижения определенного объема исследований. С другой стороны, именно масштабные исследования решают археологическую задачу, внося вклад в увеличение археологических знаний и формируя наши представления о возможностях археологической геофизики, направлениях ее развития. В этом контексте проведенные исследования, охватывающие отдельную часть Гнездилово-12 и учитывающие результаты исследований Шекшово-9, являются первым подобным проектом на территории Европейской части России.

Настоящая работа направлена на решение двух задач. Первая задача — апробация построенной ранее технологии исследования невыраженных на поверхности средневековых курганных некрополей Суздальского Ополя (картирование курганных ровиков, определение границ и внутренней структуры). Проведенные исследования показывают, насколько результативна методика исследований, разработанная на данных Шекшово-9, при применении на другом памятнике с учетом изменения почвенно-геологического строения и параметров археологических объектов. Ответ на этот вопрос определяет возможность использования разработанных методов для других памятников Суздальского Ополя.

Вторая задача работы — определение структуры невыраженного на поверхности некрополя для планирования археологических раскопок и археологической интерпретации планиграфии памятника.

Ландшафт памятника и методика исследования. Почвенно-геологическое строение. Памятник Гнездилово-12 расположен на локальном водоразделе восточного макросклона Суздальского Ополя, в верховьях Мжары, в 6,5 км от Суздаля (рис. 1).

Верхняя часть разреза региона исследуемых памятников (до 1,5 м) сформировалась под влиянием четырех основных групп процессов: перигляциальных процессов позднего плейстоцена (формирование материнских пород), почвообразования (формирование палеопочв и современного почвенного профиля), эрозии и антропогенных трансформаций (агрогенных и археологических) (рис. 2).

Материнские породы региона характеризуются двумя особенностями. Первая — мозаичное строение, связанное с неоднородностью исходных покровных лёссовидных суглинков, различающихся степенью остаточной карбонатности, пылеватости, порозности. Вторая — развитая система палеомерзлотных полигональных трещин [Velichko et al., 2006; Овчинников и др., 2020]. Характерный диаметр полигонов составляет 10–30 м. Мощность, ширина и стратиграфия клиньев варьируется, мощность превышает 1,5 м.

Как правило, центральные части блоков сильно эродированы: ниже пахотного слоя здесь фиксируются материнские породы или иллювиальный почвенный слой (тип I), но возможно сохранение пространственно выдержанных почвенных горизонтов (тип II). Характеристика геоэлектрического разреза центральных частей полигонов для этих вариантов фонового разреза приведена на рис. 3.

По степени выраженности можно выделить два порядка межблочных структур, различие которых обусловлено степенью развития голоценовых эрозионных процессов. На сегодняшний день крупные трещины (тип III) выполнены псевдоморфозами по повторно-жильным льдам, содержат палеопочвы, деллювиальные отложения и др. Мелкие трещины выполнены первично-почвенным заполнением. Наиболее выраженными с точки зрения размера и глубины являются узловые сочленения трещин. Приуроченность участка исследования к пологому (до 4°) склону определила развитие линейных эрозионно-деллювиальных форм, ориентированных по склону и наследующих структуру полигональной палеокриогеной сети, в частности — деллей. Более подробно почвенно-геологическое строение участка исследований рассмотрено в работе [Лобков и др., 2021].

Отложения межблочий обладают повышенными значениями УЭС (рис. 3) и магнитной восприимчивости по сравнению с центрами блоков, что характерно для трещин обоих порядков [Модин и др., 2020; Ерохин и др., 2011; Stumpel, 2007].

Интенсивная распашка территории, фиксируемая с XII в [Алешинская и др., 2008], привела к образованию пахотного слоя и развитию агроделлювиальных отложений. Мощность пахотного слоя составляет 20–40 см, слой в целом характеризуется повышенными значениями УЭС. Согласно полученным геоэлектрическим разрезам и литературным данным [Basso et al., 2010; Séger et al., 2009; Besson et al., 2004], по УЭС пахотный слой разделяется на два

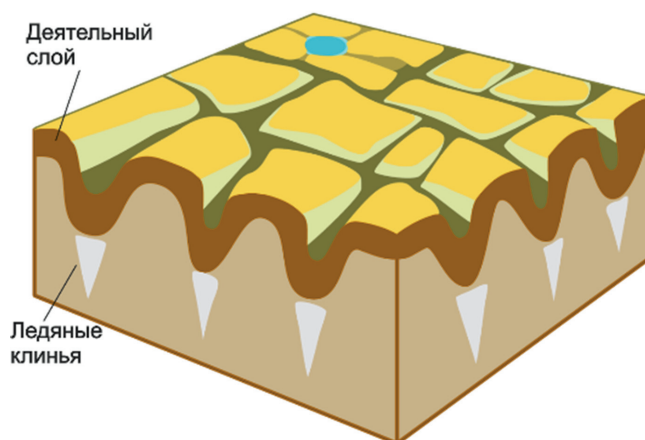


Рис. 2. Принципиальное строение верхней части разреза до этапа почвообразования и площадной эрозии, поздняя стадия деградации мерзлотной полигональной сети [Liljedahl et al., 2016]

горизонта: верхний (мощность не более 10 см, пониженное УЭС) и нижний (мощность до 20–30 см, повышенное УЭС). Верхний горизонт практически не отражается в результатах исследований и нами не рассматривается. Принятые параметры модели УЭС для пахотного слоя исследуемых памятников приведены на рис. 3, А. Пахотный слой обладает повышенными значениями магнитной восприимчивости [Бабанин и др., 1995].

Высокая неоднородность толщи покровных суглинков, сложная пятнистая организация почвенных тел и развитие склоновых процессов на территории Гнездилово-12 приводят к более существенному, по сравнению с восточной частью Шекшово-9, влиянию природных тел на результаты геофизических методов [Модин и др., 2022].

Характеристика археологических объектов. С точки зрения задач, решаемых с помощью геофизических исследований, археологические объекты Гнездилово-12, в целом, соответствуют объектам Шекшово-9 [Макаров и др., 2020]. Археологические объекты делятся на курганные площадки, окруженные ровиками, и прочие объекты (бескурганные погребения и ямы). Курганные площадки — округлые в плане основания курганов, на которых совершались погребения (в яме или на поверхности), а затем возводилась курганная насыпь; при этом грунт для насыпи брался из ровиков, окружающих площадку. Вырытые ровики впоследствии постепенно заполнялись материалом, оплывшим с насыпи и принесенным с окружающей территории. Сами курганные насыпи на сегодняшний день не сохранились, но ровики (целиком, в виде кольцевых структур, или же фрагментарно, в виде отдельных ям) прослеживаются под пахотным слоем.

Характерный диаметр курганных площадок — от 5 до 14 м, глубина ровиков от современной поверхности до дна варьирует от 0,3 до 0,8 м при ширине от 0,8 до 3 м. Часто ровики могут быть общими для соседних курганов. Перепад глубин в рамках одного

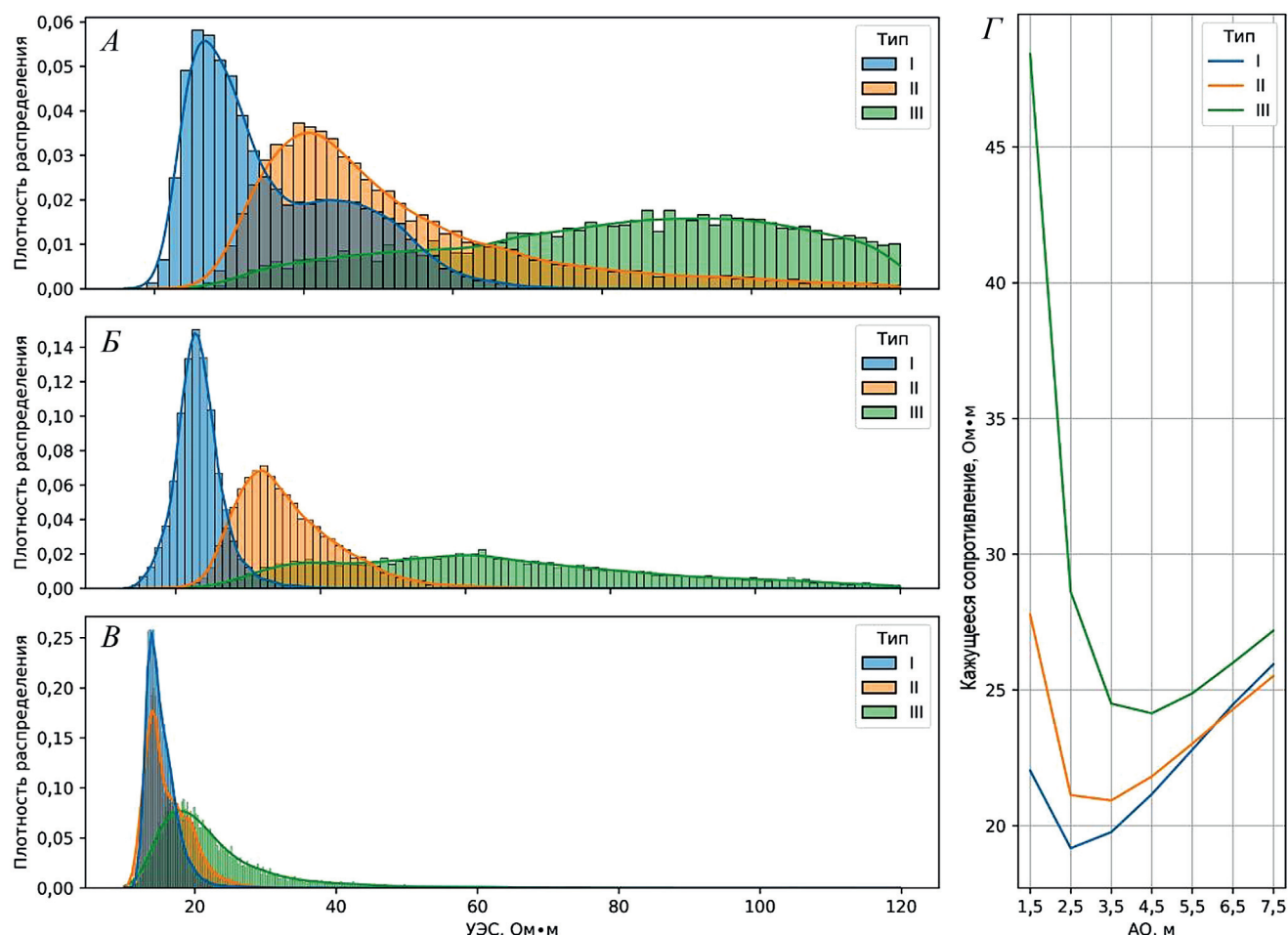


Рис. 3. Характеристики УЭС основных типов вмещающего геоэлектрического разреза по данным инверсии (для части исследованной площади). Тип I — центральные части полигонов, тип II — центральные части полигонов с темноцветными почвами, тип III — границы полигонов (межблочья). А — пахотный слой (УЭС на глубине 20 см); Б — эллювиальный слой и палеопочвы (участки межблочий, УЭС на глубине 40 см); В — иллювиальный почвенный горизонт и материнские породы (покровные суглинки, УЭС на глубине 1 м); Г — средние кривые кажущегося сопротивления для разных типов отложений

ровика может быть значительным (до 0,3 м). К прочим локальным объектам относятся грунтовые бескурганые погребения и другие ямы антропогенного происхождения, но неясного назначения. Характерный размер индивидуальных захоронений 1,8–3,5 × 0,8–1,4 м, максимальная глубина 1 м. Таким образом, глубина нижней границы археологических объектов изменяется от 1 до 0 м (так как они могут быть полностью уничтожены распашкой).

Методика геофизических измерений. Методика геофизической съемки соответствует применяемой ранее при исследовании Шекшово-9 [Модин и др., 2020]. Основу применяемого комплекса методов составляет псевдо-3D электротомография [Paradopoulos et al., 2006; Павлова, Шевнин, 2013]. Электротомография выбрана в качестве основного метода на основании опытно-методических работ [Erokhin et al., 2015], показавших наилучшую информативность метода с точки зрения выделения археологических объектов и получения информации обо всех структурах и процессах, определяющих строение верхней части разреза изучаемого региона.

Измерения проводились по серии параллельных профилей с шагом по профилю и расстоянием между электродами 1 м в одной поляризации, комбинированной трехэлектродной установкой AMN+MNB. Диапазон разносов АО — от 1,5 до 7,5 м (7 разносов), что соответствует глубинности от 0,15–0,30 до 2,5 м. Для проведения измерений использовалась электротомографическая станция «Омега-48» («ЛогиС», Раменское). Профили ориентировались меридионально. Площадь участка электротомографии составила 5 Га, выполнено 1149 профилей, 164488 точек зондирования. На регулярной основе проводились контрольные измерения: каждый полевой день повторялся последний профиль предыдущего дня (заново растягивались рулетки, устанавливались электроды и т.д.). Объем контрольных измерений составил 6,1% (17 профилей, 10048 точек измерений), общая средняя ошибка — 3,88%, результаты приведены на рис. 4.

Двумерная инверсия данных проводилась с помощью программы ZondRes2D [Каминский, 2014]. Конечным результатом обработки геофизических

данных являлось распределение УЭС на различных глубинах по результатам инверсии.

Магниторазведка (измерение модуля полного вектора индукции магнитного поля) входит в применяемый комплекс методов в качестве вспомогательного инструмента. Измерения проводились с расстоянием между профилями 1 м и частотой измерения 10 Гц, что дает плотность сети измерений не реже чем $0,2 \times 1$ м. Высота датчика над землей — 0,5 м. Профили ориентировались меридионально. Среднеквадратическое отклонение рядовой съемки — не более 0,5 нТл. Использованная аппаратура — квантовые магнитометры «G-858G» («Geometrics», Канада) и «Quantummag» («Geodevice», Санкт-Петербург, Россия).

Опытнo-методические работы методом георадиолокации [Erokhin et al., 2015] показали принципиальную возможность обнаружения курганных ровиков. Однако, в силу меньшей результативности, по сравнению с электротомографией, от проведения масштабных работ георадиолокацией было решено отказаться.

Топографо-геодезическое обеспечение работ выполнялось при помощи комплекта RTK GNSS «ForaSmart» («Геоприбор», Санкт-Петербург).

Методика геофизической интерпретации. Базовая модель интерпретации геофизических данных изложена в работе [Модин и др., 2020]. Ниже мы кратко приводим ее основные положения, дополненные на основании результатов изучения некрополя Гнездилово-12.

1. Фоновые вмещающие почвы развиты по покровным суглинкам и, как правило, имеют пониженные значения УЭС (рис. 3).

2. УЭС объектов культурного слоя выше, чем сопротивление вмещающих отложений (до 100 Ом·м при фоновом сопротивлении до 25 Ом·м).

Археологические объекты изученных некрополей Суздальского Ополя в целом не обладают заметной намагниченностью (аномалии не превышают 1–2 нТл). Исключение составляют 10–20% курганных ровиков, характеризующихся аномалиями 3–4 нТл. Природные тела, являющиеся помехой для всех применяемых геофизических методов, формируют положительные аномалии амплитудой 5–10 нТл.

3. Основные неантропогенные локальные повышения сопротивления и намагниченности связаны с палеокриогенными структурами (мерзлотными полигонами), приуроченными к ним деллювиальными структурами и вторым гумусовым горизонтом (палеопочвам) и имеющими площадное развитие темноцветными почвами. Эти объекты рассматриваются как основной источник помех при выделении сигнала от археологических объектов.

4. Кольцевые аномалии УЭС, не связанные с палеомерзлотными полигонами, интерпретируются как курганные ровики.

5. Локальные повышения сопротивления, не связанные пространственно с палеокриогенными

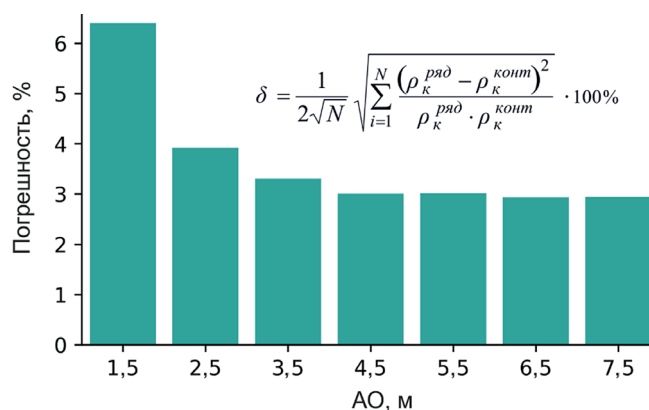


Рис. 4. Погрешность определения кажущегося сопротивления в зависимости от разнosa

структурами и не интерпретируемые как курганные ровики, интерпретируются как прочие археологические объекты (бескурганные погребения и ямы).

6. Аномалии удельного электрического сопротивления ровиков и их фрагментов (УЭС от 40 до 100 Ом·м) относительно фона, как правило, выше, чем аномалии от захоронений и ям (до 60 Ом·м).

7. Разная чувствительность электроразведки и магниторазведки к археологическим и природным неоднородностям открывает возможность повышения результативности интерпретации за счет межметодного комплексирования. В качестве одного из вариантов нами использовался следующий комплексный параметр

$$P = \frac{\lg(\rho) - \overline{\lg(\rho)}}{\text{std}(\lg(\rho))} - \frac{T - \bar{T}}{\text{std}(T)},$$

где ρ — УЭС по результатам инверсии для заданной глубины, T — модуль полного вектора магнитного поля, $\lg(\rho)$ и $\bar{T}$ — соответствующие средние значения, std — стандартное отклонение. Так как корреляция сильных положительных аномалий УЭС и магнитного поля характерна для природных объектов, высокие значения параметра подчеркивают более слабые археологические структуры.

Решение задачи картирования ровиков. Первичная задача, решаемая геофизическими методами в рамках описываемой технологии исследования — картирование курганных ровиков. Полученные карты сопротивления и комплексного параметра содержат 84 аномалии, интерпретируемые как курганные ровики (рис. 5) согласно описанной интерпретационной модели.

На сегодняшний день можно выделить два критерия успешности решения задачи картирования курганных ровиков: соответствие интерпретации геофизических данных результатам раскопок и соответствие архивным чертежам или планам, составленным в ходе работ предшественников (при наличии таковых).

Первый критерий позволяет осуществлять за- верку в масштабе раскопа. Как и в Шекшово, этот критерий при исследованиях Гнездилово выполня-

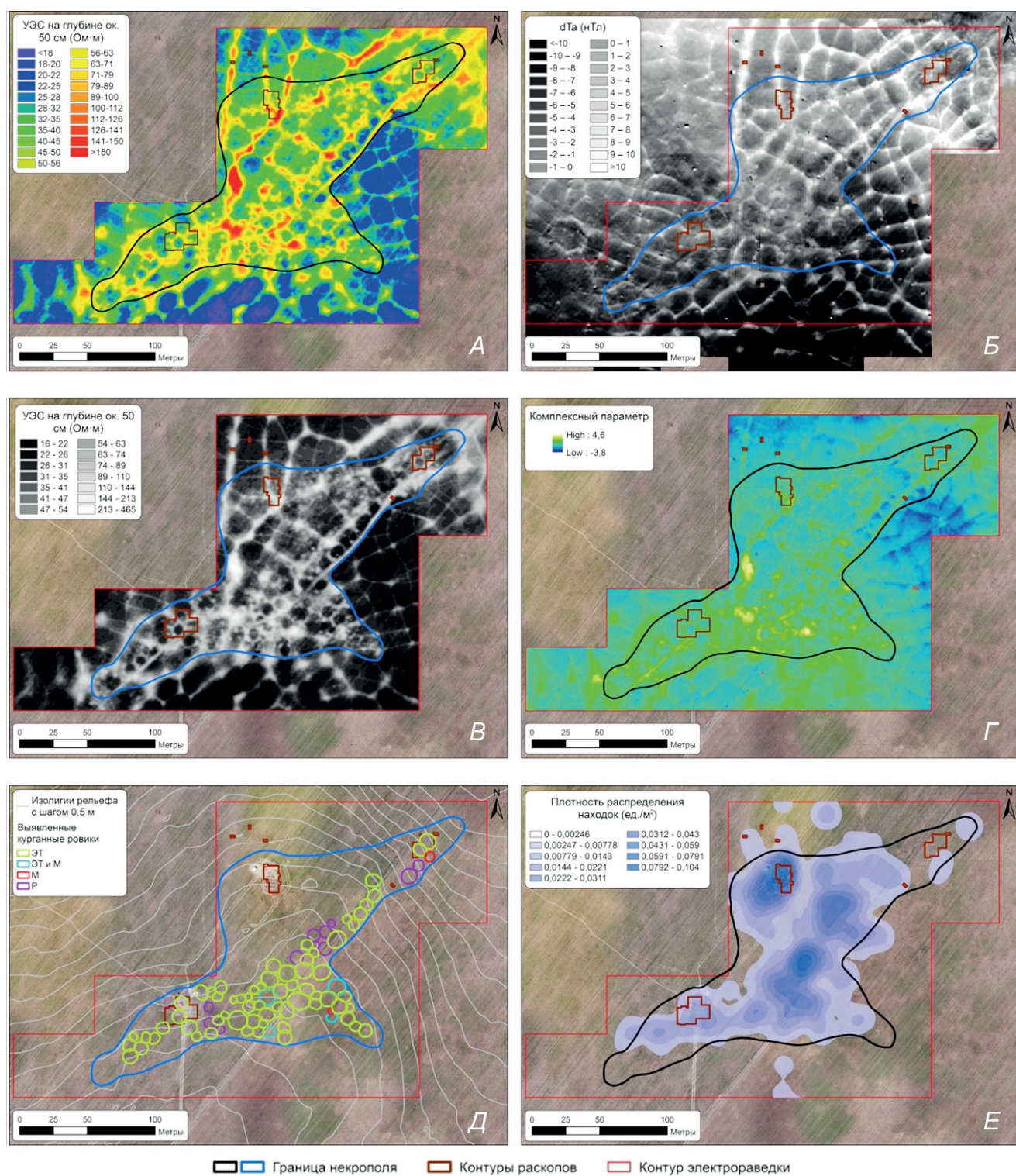


Рис. 5. Результаты исследований Гнездилово-12. А — УЭС на глубине около 50 см (палитра подчеркивает особенности почвенно-геологического строения участка), Б — карта аномального магнитного поля, В — УЭС на глубине около 50 см (палитра подчеркивает археологические объекты), Г — карта комплексного параметра, Д — контуры курганных ровиков по результатам интерпретации данных, Е — ядерная плотность распределения находок по поверхностным сборам

ется следующим образом: кольцевидные аномалии в Гнездилово соответствуют сохранившимся ровикам, окружающим курганные площадки (рис. 6). Расхождения возникают в случае неоднозначной археологической интерпретации объектов в раскопе, связанной с их разрушением в результате сельскохозяйственной деятельности.

В отличие от предшествующих работ, для Гнездилово-12 существует возможность обращения ко второму критерию: сохранился полуинструментальный план расположения курганных насыпей, составленный в ходе работ Уварова [Макаров и др., 2009]. Данный план отражает объекты, видимые на поверхности в середине XIX в., и насчитывает

28 насыпей. На основании геофизических данных курганных насыпей выделяется больше, но общая территория расположения курганов на плане XIX в. соответствует общей территории курганного могильника, выделенного с помощью карты УЭС (рис. 7). Отметим, что схожий результат был получен в работе [Burks, 2014].

Таким образом, удовлетворение двум выше-означенным критериям позволяет установить, что используемая технология подтвердила свою результативность при решении задачи картирования курганных ровиков.

Решение задачи выявления бескурганных погребений и ям, определения структуры. Малые

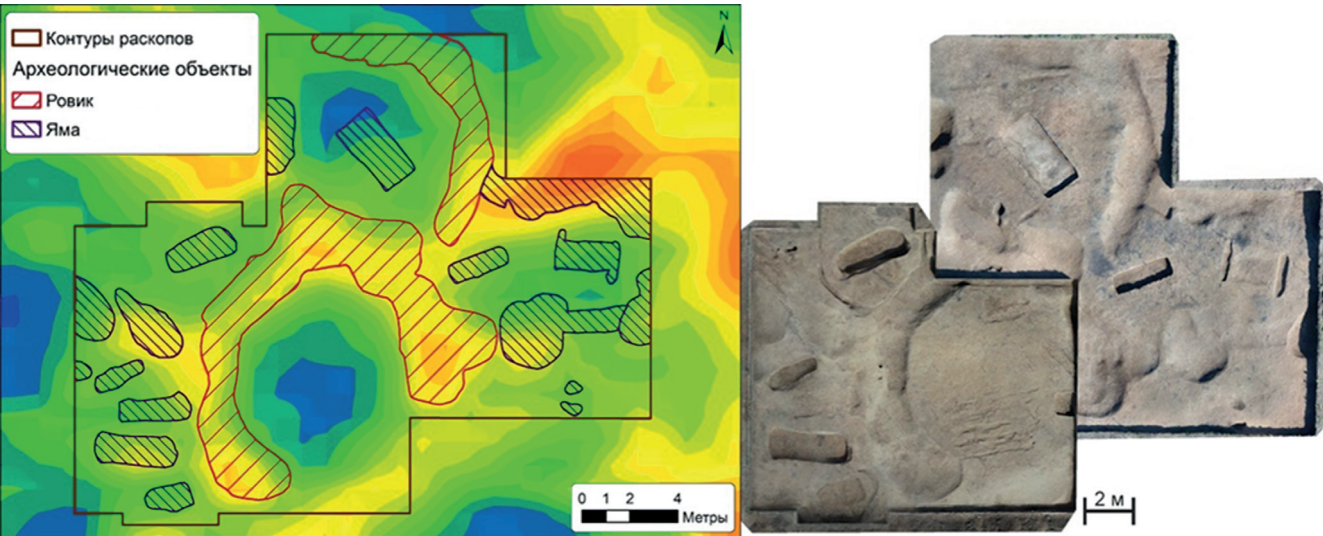


Рис. 6. Сопоставление карты УЭС на глубине ок. 50 см (слева) и результатов археологических раскопок (справа)

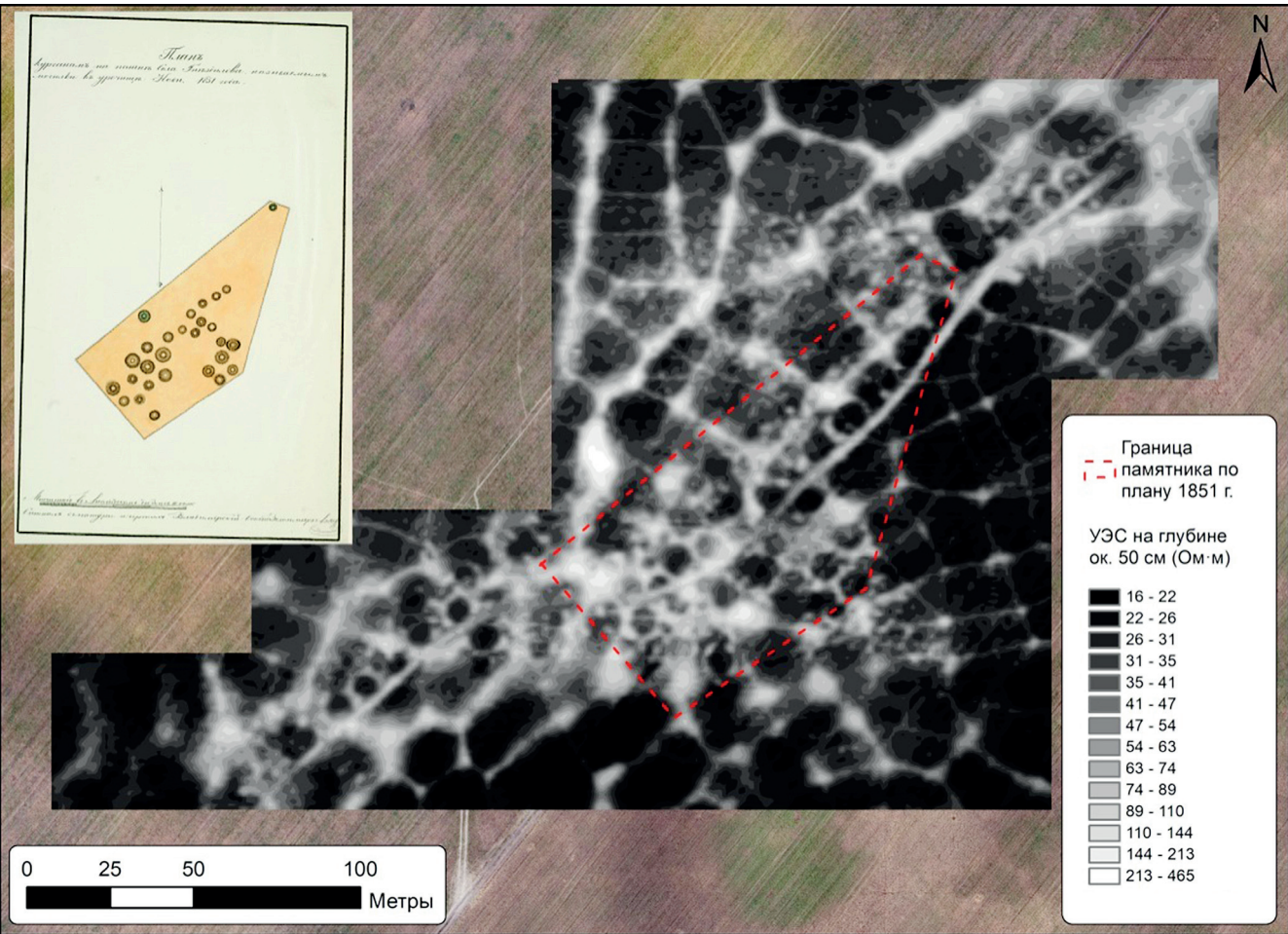


Рис. 7. План XIX в. и результаты геофизической съемки

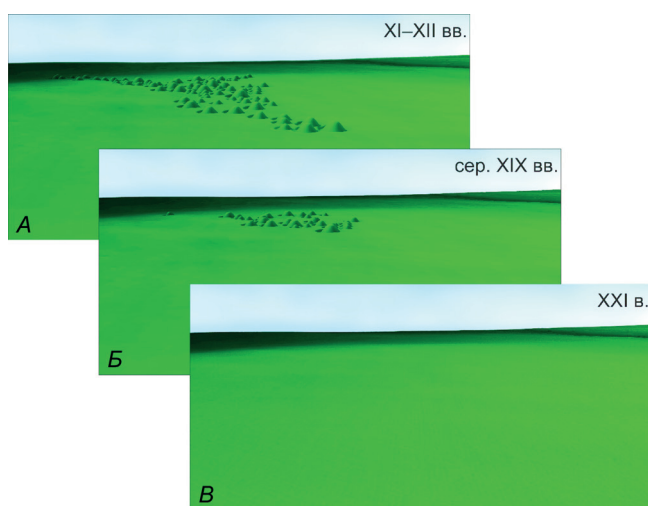


Рис. 8. Принципиальная реконструкция курганного ландшафта Гнездилово-12 по результатам проведенных исследований. А — конец XII в., Б — середина XIX в., В — современная топография

размеры объектов, недостаточная плотность сети наблюдений, существенное влияние вариаций фона на контрастность и сложность взаимоотношений между отдельными объектами не позволяет уверенно решать задачу поиска индивидуальных погребений и ям для рассматриваемых некрополей Суздальского Ополя. Точность выделения отдельных объектов оказывается низкой.

Выход из этой ситуации предложен в работе [Красникова и др., 2020] — можно определять не положение каждого объекта, а ориентироваться на плотность их распределения в разных частях памятника. Это дает понимание структуры бескурганной части памятника и его границ. Корректность проведенных построений проверяется двумя критериями: сравнением с результатами раскопок и с распределением находок подъемного материала.

Как и для курганных ровиков, сопоставление с раскопами позволяет оценить вероятность выявления отдельного объекта. Результаты в Гнездилово оказываются положительными, но хуже, чем в Шекшово, в силу более высокого сопротивления вмещающей среды и заложения большей части раскопов в неблагоприятных областях с точки зрения вмещающего разреза. Подробнее вопрос влияния вмещающей среды на точность интерпретации рассмотрен в работе [Модин и др., 2022].

Второй критерий — распределение находок подъемного материала, ориентирован уже не на отдельные объекты, но касается точности определения границ и структуры. За исключением отдельных находок, основная их часть относится к территории памятника, определенной по результатам геофизических методов (рис. 5, Е). Археологические наблюдения показывают, что для некрополей Ополя находки из пахотного слоя, как правило, расположены вблизи археологических объектов, им соответствующих [Захаров, 2014], что открывает возможность комплексного анализа геофизических

данных и распределения находок [Trachet et al., 2016; Verdonck et al., 2019]. В качестве дополнительной заверки границ могут выступать результаты раскопок, проводившихся за пределами памятника. В случае Гнездилово-12 к таковым можно отнести почвоведческие шурфы, расположенные к северу от границы памятника. Археологического материала в них не обнаружено.

В соответствии с приведенными критериями можем считать задачу определения границ и внутренней структуры памятника решенной. Меньшая, по сравнению с Шекшово-9, вероятность выявления отдельного локального объекта несколько снижает точность определения границы как линии, соединяющей объекты, расположенные на периферии памятника, но существенных ограничений не накладывает.

Результаты исследований некрополя Гнездилово-12. Основные результаты исследования некрополя Гнездилово-12 относятся к картированию курганных объектов.

Впервые для всей площади невыраженного на поверхности погребального некрополя с высокой достоверностью определено положение 84 курганных насыпей, структура курганной части некрополя. Курганы группируются вдоль центральной линии направления ЮЗ–СВ, с расширением группы в ЮВ части, фиксируются элементы рядности расположения. Выявленная структура курганной части Гнездилово-12 позволяет сравнивать его с другими погребальными памятниками Ополя.

С точки зрения археологической интерпретации геофизические данные содержат информацию, позволяющую сравнивать курганные насыпи между собой. Это положение курганов в группе, диаметр кургана и размер ямы в центральной части площадки (погребения). В сочетании с данными поверхностных сборов это позволяет оптимизировать выбор мест заложения раскопов, выбрать стратегию дальнейшего археологического исследования памятника.

Как было описано выше, соответствие результатов геофизической съемки планам XIX в. служит одним из подтверждений качества геофизических исследований. Но верно и обратное: геофизическая съемка — основа для оценки информационного потенциала планов XIX в. и эволюции курганного ландшафта памятника. Установлено, что в середине XIX в. большая часть курганов памятника уже не была видна на поверхности.

Полученная информация позволила построить принципиальные 3D реконструкции эволюции курганного ландшафта (рис. 8). Положение курганов определялось по результатам геофизической съемки, размер кургана пропорционален размеру ровиков. Подобные реконструкции имеют важное значение как для археологической интерпретации памятника, так и для популяризации результатов исследований.

На основании высокочастотной компоненты сопротивления и введенного комплексного параметра определены границы памятника и области повы-

шенной концентрации бескурганных объектов и ям, что является важной информацией для дальнейшего археологического изучения памятника.

Выводы. Используемая геофизическая технология исследования подтвердила результативность при решении задачи картирования курганных ровиков и задачи выявления структуры памятников. Впервые в Суздальском Ополье полностью определена граница некрополя и выявлена его внутренняя структура. Полученный результат представляет большую ценность с точки зрения дальнейшего археологического изучения памятника, планирования раскопок и интерпретации курганного ландшафта.

Впервые проведена принципиальная 3D-реконструкция облика курганного могильника, ос-

нованная на геофизических данных. Она является базой для археологического анализа памятника в контексте окружающего ландшафта и для создания полноценных реалистичных реконструкций, имеющих научное и популяризационное значение.

Благодарности. Исследование памятника выполнялось с использованием приборной базы Центра коллективного пользования при ИА РАН (г. Москва).

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта «Средневековые некрополи в изменяющихся ландшафтах: исследование древнерусских могильников с утраченными курганными насыпями» (РНФ № 19-18-00538).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешинская А.С., Кочанова М.Д., Макаров Н.А., Спиридонова Е.А. Становление аграрного ландшафта Суздальского Ополья в Средневековье (по данным археологических и палеоботанических исследований) // Российская Археология. 2008. № 1. С. 35–47.
2. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О. и др. Магнетизм почв. М.: Изд-во ЯГТУ, 1995.
3. Ерохин С.А., Модин И.Н., Паленов А.Ю., Шевнин В.А. Картирование реликтовых полигональных структур с помощью геофизических методов // Инж. изыскания. 2011. № 11. С. 30–34.
4. Захаров С.Д. Информационный потенциал культурного слоя, пострадавшего от распахки // Краткие сообщения Ин-та археологии. 2014. Вып. 233. С. 100–112.
5. Каминский А.Е. ZondRes2D. Программа двумерной интерпретации данных метода сопротивлений и вызванной поляризации (в полигональном исполнении), 2014. URL: <http://zond-geo.com/software/resistivity-imaging-ves/zondres2d/> (дата обращения: 22.03.2020).
6. Коробов Д.С., Малашев В.Ю., Фассбиндер Й. Комплексное исследование раннеаланских захоронений IV в. н.э. в Северной Осетии // Краткие сообщения Ин-та археологии. 2020. Вып. 260. С. 441–458.
7. Красникова А.М., Ерохин С.А., Модин И.Н. и др. Проблема поиска грунтовых погребений в Суздальском Ополье // Краткие сообщения Ин-та археологии. 2020. Вып. 259. С. 30–48.
8. Лобков В.А., Шоркунов И.Г., Гаранкина Е.В. и др. Ревизия роли реликтовой криогенной морфоскульптуры в ландшафтной структуре Суздальского ополья с применением методов геофизики и палеопочвоведения // Пути эволюционной географии — 2021. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22–25 ноября 2021 г.). 2021.
9. Макаров Н.А. У колыбели Северо-Восточной Руси // Природа. 2019. № 1. С. 78–87.
10. Макаров Н.А., Красникова А.М., Ерохин С.А. Первые результаты новых исследований могильника Гнездилово под Суздалем // Краткие сообщения Ин-та археологии. 2021. Вып. 264. С. 7–29.
11. Макаров Н.А., Красникова А.М., Зайцева И.Е., Добровольская М.В. Средневековый могильник Шекшово: «Владимирские курганы» в свете новых исследований // Росс. археология. 2020. № 4. С. 121–140.
12. Макаров Н.А., Красникова А.М., Карпунин А.А. Курганные могильники Суздальской округи в контексте изучения средневекового расселения и погребальных традиций // Великий Новгород и средневековая Русь: Сб. ст.: К 80-летию акад. В.Л. Янина. М.: Памятники исторической мысли, 2009. С. 432–454.
13. Модин И.Н., Ерохин С.А., Красникова А.М. и др. Геофизические исследования не выраженного на поверхности средневекового некрополя Шекшово-9 (Суздальское Ополье) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2020. № 6. С. 3–15.
14. Модин И.Н., Ерохин С.А., Шевченко В.А., Красникова А.М. Влияние фонового почвенно-геологического разреза на эффективность геофизических исследований в археологии (Суздальское Ополье) // Геофизика. 2022. № 6. С. 106–114.
15. Овчинников А.Ю., Алифанов В.М., Худяков О.И. Влияние палеокриогенеза на формирование серых лесных почв Центральной России // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1170–1181.
16. Павлова А.М., Шевнин В.А. 3D-электротомография при исследовании ледниковых отложений // Геофизика. 2013. № 6. С. 32–37.
17. Чемякина М.А. Археолого-геофизические исследования грунтовых могильников западной Сибири // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2008. № 3. С. 44–56.
18. Banning E.B., Hawkins A.L., Stewart S.T. Sweep widths and the detection of artifacts in archaeological survey // J. Archaeol. Sci. 2011. Vol. 38. P. 3447–3458.
19. Basso B., Amato M., Bitella G., et al. Two-Dimensional Spatial and Temporal Variation of Soil Physical Properties in Tillage Systems Using Electrical Resistivity Tomography // Agronomy J. 2010. Vol. 102. P. 440–449.
20. Bewan B.W. The search for graves // Geophysics. 1991. Vol. 56. P. 1310–1319.
21. Besson A., Cousin I., Samouëlian A., et al. Structural heterogeneity of the soil tilled layer as characterized by 2D electrical resistivity surveying // Soil and Tillage Research. 2004. Vol. 79. P. 239–249.
22. Burks J. Geophysical Survey at Ohio Earthworks: updating Nineteenth Century Maps and Filling the 'Empty' Spaces // Archaeological Prospection. 2014. Vol. 21. P. 5–13.
23. Erokhin S.A., Modin I.N., Pavlova A.M. 3D electrical resistivity imaging and GPR to re-explore ancient mounds near Suzdal in Russia // Archaeol. Polona. 2015. Vol. 53. P. 448–452.

24. Green W., Wiewel A.S., De V. Geophysical Detection and Assessment of Leveled Mounds: An Example from the Upper Mississippi Valley // *American Antiquity*. 2021. Vol. 86. P. 305–326.
25. Liljedahl A., Boike J., Daanen R., et al. Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology // *Nature Geoscience*. 2016. Vol. 9. P. 312–318.
26. Moffat I. Locating Graves with Geophysics // *Best Practices of GeoInformatic Technologies for the Mapping of Archaeolandscape*. Oxford: Archaeopress, 2015. P. 45–53.
27. Papadopoulos N.G., Tsourlos P., Tsokas G.N., Sarris A. Two-dimensional and three-dimensional resistivity imaging in archaeological site investigation // *Archaeol. Prosp.* 2006. Vol. 13, N 3. P. 163–181.
28. Romaniszyn J., Niebieszczański J., Cwaliński M., et al. Middle Bronze Age cemeteries, 'double barrows' and mortuary houses in the Upper Dniester Basin, Western Ukraine: Geophysical prospection and archaeological verification // *Archaeological Prospection*. 2021. Vol. 28, N 4. P. 505–518.
29. Sarris A., Papadopoulos N. Looking for Graves: Geophysical Prospection of Cemeteries // *17th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies*. Vienna, 2012.
30. Schmidt A., Linford P., Linford N., et al. EAC guidelines for the use of geophysics in archaeology: Questions to Ask and Points to Consider. Namur: Europae Archaeologia Consilium (EAC), 2015.
31. Séger M., Cousin I., Frison A., et al. Characterisation of the structural heterogeneity of the soil tilled layer by using in situ 2D and 3D electrical resistivity measurements // *Soil and Tillage Research*. 2009. Vol. 103, N 2. P. 387–398.
32. Stumpel H. Geophysical Prospection in Suzdal — Russia. Kiel: Inst. Geosci., 2007.
33. Trachet J., Delefortrie S., Van Meirvenne M., et al. Reassessing Surface Artefact Scatters. The Integration of Artefact-Accurate Fieldwalking with Geophysical Data at Medieval Harbour Sites Near Bruges (Belgium) // *Archaeological Prospection*. 2017. Vol. 24. P. 101–117.
34. Velichko A.A., Morozova T.D., Nechaev V.P., et al. Loess/paleosol/cryogenic formation and structure near the northern limit of loess deposition, East European Plain, Russia // *Quatern. Intern.* 2006. N 152–153. P. 14–30.
35. Verdonck L., De Smedt P., Verhegge J. Making sense of anomalies: Practices and challenges in the archaeological interpretation of geophysical data // *Innovation in Near-Surface Geophysics*. Amsterdam. The Netherlands: Elsevier, 2019. P. 151–194.

Статья поступила в редакцию 02.05.2023,
одобрена после рецензирования 12.06.2023,
принята к публикации 22.09.2023