

А. Н. Шенин^{1,3}, Ю. Н. Гаркуша², А. В. Новиков²

¹ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090, Россия*

² *Институт археологии и этнографии СО РАН
пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия*

³ *Забайкальский государственный университет,
ул. Александрово-Заводская, 30, Чита, 672039, Россия*

SheinAN@ipgg.sbras.ru

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ПОСЕЛЕНЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ ПРИПОЛЯРЬЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ РАБОТ НА ГОРОДИЩЕ УСТЬ-ВОЙКАРСКОЕ)

Городище Усть-Войкарское – памятник аборигенной культуры позднесредневекового населения севера Западной Сибири. Является многослойным поселенческим комплексом с мерзлым культурным слоем из органических отложений. Выявлены плотно расположенные руины деревянных построек, размещенные в несколько ярусов. В ходе комплексных археолого-геофизических работ были апробированы методы геофизической разведки для работы в интересах археологии на слоях с подобной структурой. Применены электротомография, магнитометрия, георадиолокация. По результатам проведенного двумерного анализа данных электротомографии был выделен слой, который характеризуется более низким сопротивлением по отношению к перекрывающему почвенному слою и подстилающей мерзлоте. По результатам 3D инверсии данных электротомографии в теле холма были выделены две длинные параллельные линейные проводящие структуры. Магнитная съемка и георадиолокация подтвердили их наличие. При сопоставлении с археологическими реалиями они интерпретированы как постройки, расположенные в два ряда. Специфика строения культурного слоя, слабая контрастность по физическим свойствам деревянных строений и вмещающей их среды не позволили методами геофизической разведки определить местоположение отдельных построек.

Ключевые слова: Нижнее Приобье, городище Усть-Войкарское, мерзлота, геофизика, электротомография, магнитометрия, георадиолокация.

Внедрение геофизических методов в практику полевых археологических исследований позволяет решать задачи получения многоплановой информации о характере и структуре археологического объекта и существенно сократить финансовые и трудовые затраты при планировании полевых исследований [Журбин, 2004. С. 79].

В статье представлены результаты комплексных археолого-геофизических исследова-

ний, проведенных в 2013–2014 гг. на городище Усть-Войкарское, расположенном в Нижнем Приобье (см., например: [Новиков и др., 2014]). Памятник является одним из немногих поселенческих многослойных комплексов с мерзлым культурным слоем на севере Западной Сибири, ставших объектом археологического исследования.

Во время первых раскопок, проведенных в 2003–2008 гг. сотрудниками ОВМК и

Шенин А. Н., Гаркуша Ю. Н., Новиков А. В. Возможности применения геофизических методов на поселенческих комплексах Приполярья (по материалам работ на городище Усть-Войкарское) // Вестн. НГУ. Серия: История, филология. 2017. Т. 16, № 7: Археология и этнография. С. 50–65.

Ямальского филиала ИИА УрО РАН (Салехард) [Брусницына, 2003; Федорова, 2006], работы затронули небольшую часть памятника. В силу этого границы поселения и его планиграфическая структура не были определены. Культурные отложения оказались пройденными на всю глубину лишь на отдельных периферийных участках, где стратиграфия представлена разрезами относительно небольшой мощности. Это также не давало полной ясности в вопросе об их структуре, учитывая сложный рельеф памятника. С 2012 г. исследования проводились силами специалистов ИАЭТ СО РАН.

Актуальность запланированных геофизических исследований определялась не только традиционными задачами археологии, но и стремлением оптимизировать значительные трудозатраты, обычно сопровождающие исследование мерзлого культурного слоя, а также ограниченным по времени периодом полевых исследований из-за специфического климата региона.

Активное использование геофизических методов для изучения археологических памятников Западной Сибири производится с конца 1990-х гг. (см. например: [Эпов и др., 2006]). Однако, насколько нам известно, геофизические исследования на городище Усть-Войкарское, а также проведенная в 2013 г. магниторазведка на могильнике Зеленый Яр [Гусев и др., 2014] являются первыми исследованиями такого рода в условиях Приполярья.

Для определения границ культурного слоя и установления местоположения архитектурных объектов был задействован комплекс методов геофизической разведки: электротомография, магнитометрия, георадиолокация. В настоящее время они являются наиболее востребованными в археологии; вместе с тем ни один из указанных методов не является универсальным [Журбин, 2004. С. 86].

Памятник расположен на левобережье р. Горная Обь, в окрестностях д. Усть-Войкары (Шурышкарский р-н ЯНАО). Его месторасположение приурочено к южному мысовидному окончанию останца террасы, клином выступающей в пойму Горной Оби. Восточная экспозиция останца обращена к руслу реки, а западная ограничена узкой долиной ручья. Этот участок местности представляет собой обширную, свободную от древесной растительности площадку, су-

жающуюся и плавно понижающуюся в южном направлении. В силу своего положения в период традиционного для Нижнего Приобья обширного весенне-летнего половодья эта часть террасы, с расположенным на нем поселением, фактически превращается в полуостров, возвышающийся над урезом воды на 3–5 м.

Наиболее заметным здесь ландшафтным объектом является холм с крутыми склонами, занимающий южную часть указанной площадки, с которым в настоящее время и ассоциируется собственно городище.

Холм вытянут по направлению север-юг на расстояние около 100 м при ширине у подножия около 40–50 м (рис. 1; 2). Микро-рельеф возвышения неровный, но на поверхности остатков каких-либо строений не прослеживалось. Уплощенная верхняя площадка имеет длину около 60 м и ширину 15–20, местами 25 м. Максимальная высота по восточному склону – 8–9 м: его подошва приурочена к пойме. Западный склон расположен на указанной площадке, его высота в среднем около 5 м.

Именно верхняя площадка холма (точнее, ее западная половина), северо-западная часть склона и прилегающий к нему участок подножия были охвачены раскопами в разные периоды археологического изучения памятника.

Мощность вскрытых отложений на верхней площадке (на некоторых участках она достигла 2 м) позволила допустить, что холм в значительной степени имеет искусственное происхождение и сложен из накопленных органических наслоений: главным образом из слежавшейся щепы и обломков древесины. В их структуре прослеживаются локальные участки со следами пожарищ. При этом на достигнутом уровне продолжают фиксироваться остатки построек, уходящих вглубь еще не вскрытых отложений.

Мерзлота начала проявляться на глубине около 0,4 м. Ее наличие обеспечило не только хорошую сохранность отходов деревообработки, формирующих слои холма, но и руинизированных остатков деревянной архитектуры, занимающих несколько ярусов. Поверх щепы лежал задернованный слой гумусированного грунта мощностью 0,15–0,4 м.

Мощность культурных отложений у подножия варьируется от 0,3 до 0,9 м. Материалом является песок, меняющий окраску от

желто-серого до светло-серого. Однако нельзя исключить того, что холм мог сформироваться поверх какого-то естественного возвышения.

Значимым результатом первого этапа исследований стало выявление на основе дендрохронологического анализа нескольких надежно датированных периодов в развитии многослойного поселения. У подножия под склоновыми отложениями обнаружена жилая застройка начала XIV в.; к верхней части холма приурочена застройка середины – последней трети XVII в. – начала XVIII в.; поверх последней выявлены разрозненные строения, которые можно отнести к началу XIX в. [Федорова, 2006; Гурская, 2008].

По результатам второго этапа полевых работ установлено, что основная застройка

на верху холма образована комплексом размещенных практически вплотную малогабаритных (с длиной стен 2,5–3 м) и крупногабаритных (5–8 м) жилых построек. Для этой группы строений определяющим принципом организации внутренней планировки поселения явилось длительное и последовательное освоение участка, выбранного для строительства дома: предыдущая постройка демонтировалась до определенного уровня, а на ее руинах сооружалась новая. Таким образом, на ограниченной площади образовывалось несколько уровней компактно расположенной и относительно упорядоченной строительной древесины.

Наиболее последовательно эти принципы соблюдались в развитии крупногабаритных объектов. В структуре поселения они, судя



Рис. 1. Общий вид городища Усть-Войкарское с севера (фото А. В. Новикова)

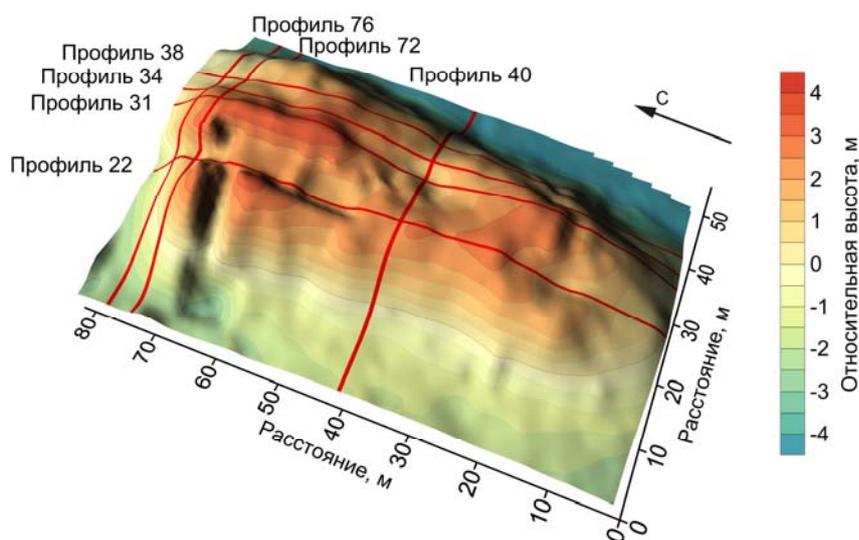


Рис. 2. Рельеф выбранного для геофизических исследований участка городища Усть-Войкарское (красными линиями показано расположение контрольных профилей ЭТ)

по вскрытым участкам в западной части холма, располагались в линию по его краю. В меньшей степени такие ориентиры размещения и развития были характерны для малогабаритной застройки. На исследованной территории она приурочена к северо-западной периферии холма, где характеризуется хаотичным и скученным расположением.

Каждому жилому строению соответствовало одно очажное устройство. По конструкции они разделяются на открытые округлые в плане кострища, прямоугольные деревянные рамы, установленные по границам углубления, чувалы (глиняные печи типа камина). Диаметр кострищ и чувалов варьировался в пределах 1 м. Длина рам составляла 2,5–3 м при ширине 0,8–1,1 м.

На разных строительных ярусах они иногда сохраняли свое положение в структуре дома, а иногда располагались в разных его частях. В первом случае мощность накопленных остатков горения могла достигать 1,8 м.

Межжилищное пространство было заполнено хаотичной наброской из бревен разной длины и других крупных отходов деревообработки. Прослежены также остатки различных ограждений.

К началу проведения геофизических исследований мы не обладали в полной мере информацией о структуре культурного слоя и планиграфии поселения. Значительная часть изложенного материала была получена после увеличения площади раскопов, выполненного вслед за геофизическим обследованием.

Электротомография проведена на площади 82 × 71 м; магниторазведка и георадарная съемка применена на участке 82 × 56 м. Геофизическими исследованиями были охвачены холм и прилегающие к нему участки. Измерялись площади действующих раскопов (измерения сопровождали процесс раскопок) и раскопов 2003–2008 гг. На участке последних находились остатки построек, консервация которых проводилась укрыванием слоем полиэтилена и засыпкой из отвалов небольшой мощности.

В процессе раскопок было отмечено, что плотность мерзлых образований внутри строений и снаружи могли отличаться. Определенную роль в этом играло более плотное скопление древесины в заполнении постройки, являющееся дополнительным

теплоизолятом. В это же время вокруг массивных конструкций (например, стен построек) фиксировались пустоты: крупные фракции окружающей постройку щепы не могли обеспечить плотное прилегание засыпки к древесине. Образовавшиеся пустоты аккумулировали влагу, с накоплением которой вдоль стен формировались линзы относительно чистого льда. Это должно было придать дополнительную контрастность по физическим свойствам искомым постройкам, в связи с чем было признано целесообразным применение ЭТ (сплошного электрического зондирования) в качестве одного из методов геофизической разведки. Она основана на изучении электрических свойств объектов и вмещающего их слоя, отличающихся разным удельным электрическим сопротивлением. Электротомография – модификация метода сопротивлений, сочетающая методы зондирования и профилирования. Базируется на применении многоэлектродных электроразведочных кос, подключаемых к аппаратуре, способной коммутировать токовые и измерительные электроды (заземленные в грунт) на произвольные выводы косы. От межэлектродного расстояния напрямую зависит глубинность – рабочая глубина исследования. При работе методом ЭТ использовался многоэлектродный аппаратный комплекс «Скала-48», разработанный в ИНГГ СО РАН и производящийся серийно ООО «КБ Электрометрии» (Новосибирск). Он предназначен для выполнения электроразведочных работ методами сопротивлений и вызванной поляризации. Его аппаратура поддерживает различные типы электроразведочных установок – способов взаимного расположения питающих и приемных электродов (Веннер, Шлюмберже и др.), применяемых при электроразведке [Балков и др., 2012].

С целью повышения эффективности полевых наблюдений была выбрана комбинация установок Шлюмберже и дипольной. Первая обладает хорошей чувствительностью к горизонтальным границам архитектурного объекта (полы, настилы), а вторая – к вертикальным (например, стены построек). Измерения проводились вдоль короткой оси холма, с запада на восток, с межэлектродным расстоянием 1 м, что позволило достичь глубинности в 6–8 м – оптимальной для участка с указанными ландшафтными признаками.

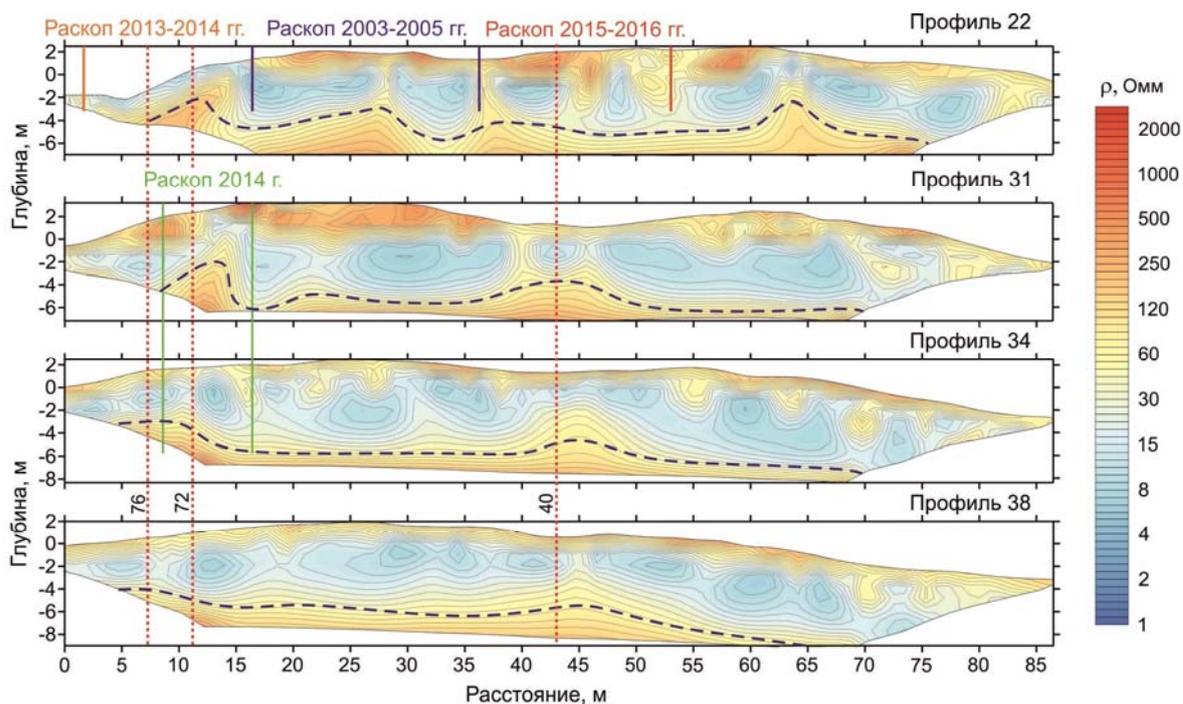


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы, построенные в результате 2D инверсии данных ЭТ по профилям 22, 31, 34 и 38 (сплошные вертикальные линии – границы раскопов разных лет; точечные линии – контрольные поперечные профили; пунктирная линия – граница многолетнемерзлых пород)

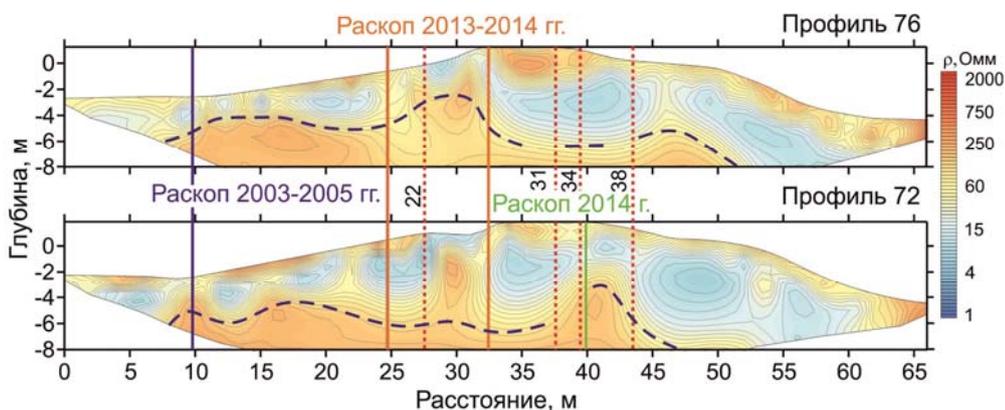


Рис. 4. Геоэлектрические разрезы, построенные в результате 2D инверсии данных ЭТ по профилям 76, 72 (сплошные вертикальные линии – границы раскопов разных лет; точечные линии – контрольные поперечные профили; пунктирная линия – граница многолетнемерзлых пород)

Профили длиной 71 м состояли из трех кос по 24 электрода. С запада зона исследования заканчивалась в 15–35 м от береговой линии, с востока она захватывала сезонно подтапливаемую ложбину и граничила с прирусловым валом, отделяющим восточную часть памятника от поймы.

При проведении площадных измерений шаг между профилями должен составлять

не более чем два межэлектродных расстояния, что в нашем случае соответствовало 2 м. Шаг был увеличен до 4 м на площади раскопов, где измерения носили уточняющий характер (проявляются или не проявляются известные объекты на геоэлектрическом разрезе). Таким образом, измерения проведены на 35 поперечных профилях. Кроме того, выполнены уточняющие изме-

рения по продольным профилям, которые пересекали действующие и старые раскопы.

Были построены разрезы УЭС пород, которые получены по результатам 2D инверсии данных ЭТ, выполненной в программе RES2Dinv (GeotomoSoftware (Малайзия)). Сравнение результатов, полученных дипольной установкой и установкой Шлюмберже, показало, что качественных отличий в результатах инверсии нет. Поэтому далее учитывались только результаты инверсии данных, полученной посредством более глубокой установки Шлюмберже.

В качестве наиболее информативных разрезов рассмотрим ряд продольных профилей УЭС по мере их перемещения с запада на восток. Некоторые из них проходили через действующие раскопы (31 и 34), профиль 22 пересекал законсервированные участки. Представлен и профиль (38), проходящий вне границ раскопов (рис. 2; 3).

Для профиля 22, располагавшегося на северном склоне, проводящий слой в месте прохождения через действующий раскоп был уже полностью оголен (области синего оттенка, соответствующие диапазону УЭС меньше 20 Ом·м). Отметим, что данный слой фиксируется в теле холма на всем его протяжении. Далее профиль проходил через участок старого раскопа, где поверх проводящего слоя фиксировался непроводящий слой с повышенным УЭС (области красного оттенка, соответствующие диапазону УЭС больше 100 Ом·м). Он представлен высохшим мешаным слоем щепы и грунта. Ниже проводящего слоя вновь проявлялась зона с повышенным УЭС. Дальше профиль проходил по еще не раскопанному участку, где отмечалась аналогичная ситуация.

Образование проводящего слоя с низким УЭС скорее всего связано с указанной особенностью культурных слоев – мерзлые структуры из рыхлых органических отложений в сочетании с продуктами горения. Другим фактором, вероятно, является достаточно большая высота самого холма, сложенного такими отложениями, и отсутствие древесной растительности, что делает его открытым для любых атмосферных явлений, в частности повышенной инсоляции. Это обеспечивает сезонное умеренное оттаивание слоев на определенную глубину, поддерживая тем самым воспроизводство проводящего слоя. По мере углубления слои все менее подвержены сезонному оттаива-

нию и переходят в состояние более выраженной мерзлоты, имеющей повышенное удельное сопротивление. Перекрывающий щепу слой представлен гумусированной супесью и ее же перемесом со щепой; он прогревается и высыхает в первую очередь, что также обуславливает его непроводимость, характеризуемую повышением УЭС.

Следующие два профиля проходили через действующий в северной части холма раскоп (профиля 31 и 34) и отображали картину, подобную профилю 22. Здесь также отсутствовал верхний грунтовый слой с высоким УЭС. Профиль 31 проходил через центр постройки, где находился очаг. Однако от южной границы раскопа наблюдалось резкое повышение УЭС. Это связано с присутствием покрытия из полиэтиленовой пленки, уложенной на дерн и отделявшей современную поверхность от складированного на него отвала во время первых раскопок памятника. Покрытие вкупе с отвалом послужили причиной образования непроводящего экрана на глубину 0,5–1,5 м.

Профиль 38 локализован только по незастроенной раскопками площади. На геоэлектрическом разрезе видно, что верхний непроводящий слой достаточно ровно распределен по всей длине профиля (области красного оттенка, соответствующие диапазону УЭС больше 100 Ом·м). Под ним находится проводящий слой, в верхней части которого выявлены архитектурные объекты (области синего оттенка, соответствующие диапазону УЭС меньше 20 Ом·м), а еще ниже, как мы предполагаем, распространена зона устойчивой мерзлоты, характеризуемая также повышенным сопротивлением

Рассмотрим результаты, полученные на поперечных профилях (рис. 4, профили 76 и 72). На западном склоне они проходили через раскопы прошлых лет. Проводящий слой здесь проявляется весьма слабо: отсутствие перекрывающего почвенного слоя, выемка части культурного слоя привели здесь к процессам высыхания отложений на большую глубину. При этом подверженный более интенсивному высыханию новообразованный верхний слой демонстрирует значительное повышение УЭС. При увеличении высоты холма наблюдается постепенное увеличение мощности проводящего слоя (области синего оттенка, соответствующие диапазону УЭС меньше 20 Ом·м). На участке действующих раскопов он выходит на по-

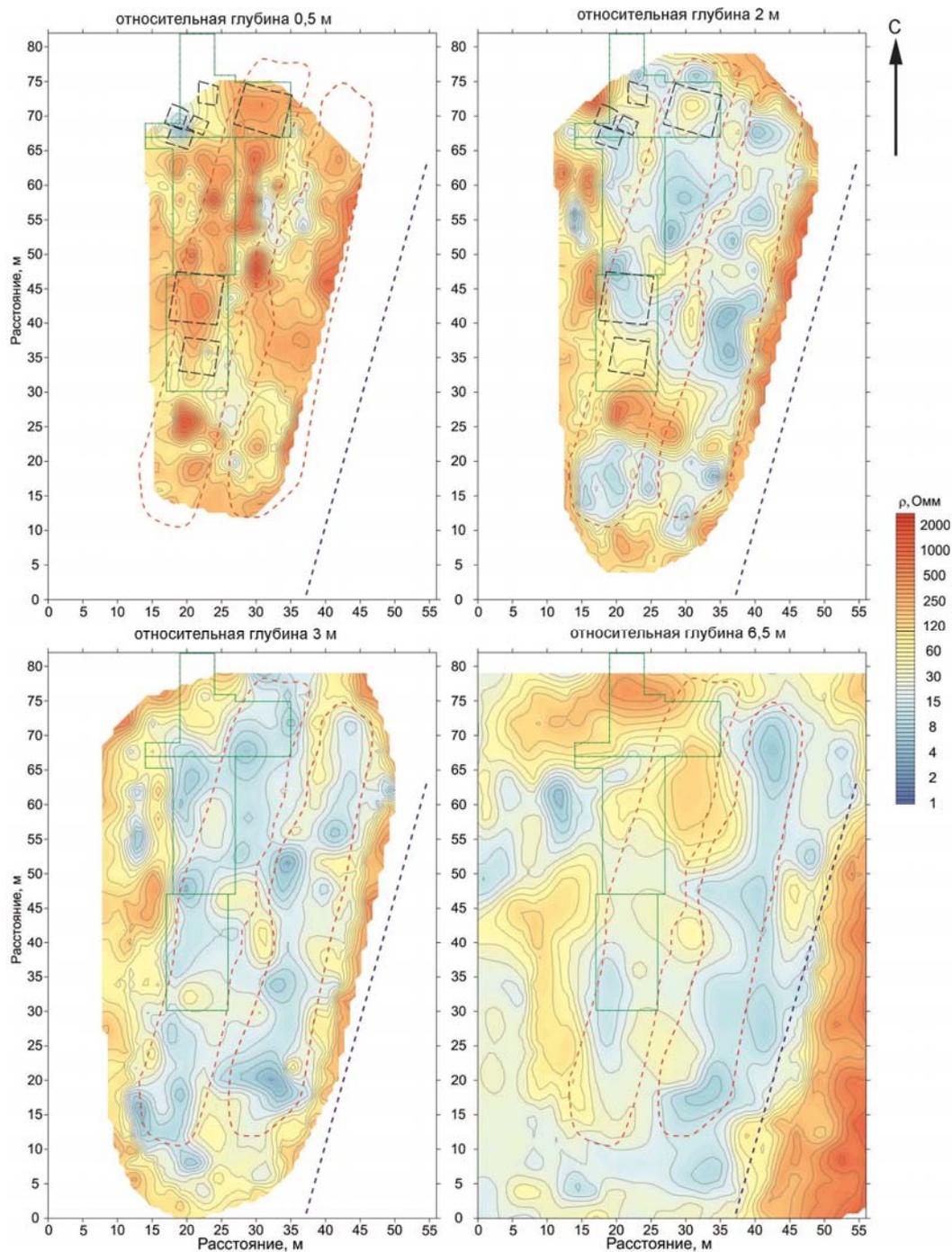


Рис. 5. Геоэлектрические срезы, построенные в результате 3D инверсии данных ЭТ по разным относительным глубинам (зеленая линия – раскопы разных лет; красная пунктирная линия – линейные проводящие структуры; черная пунктирная линия – обнаруженные строения; синяя пунктирная линия – граница непроводящей зоны)

верхность. Однако в восточной части, где профиль 72 пересекает остатки крупногабаритной постройки, проводящий слой замещен слабопроводящим. Вероятно, это связано с интенсивным высыханием открытого рыхлого заполнения постройки. За пределами раскопов на участке холма профили отобра-

жали ситуацию, зафиксированную ранее на продольных профилях.

По результатам проведенного двумерного анализа можно сказать, что верхняя часть слоя, в котором обнаружены строения, характеризуется более низким сопротивлением. Этот слой распространяется на глуби-

ну до 4–5 м от верхней поверхности холма и характеризуется диапазоном УЭС до 20 Ом·м (области синего оттенка). При этом состав отложений, формирующих холм, культурные слои на прилегающих к нему территориях и искомые архитектурные объекты представляют, с точки зрения электропроводности, достаточно однородную среду, что сделало невозможным выделение объектов домостроения по результатам 2D инверсии.

Для повышения информативности измерений была проведена 3D инверсия данных ЭТ, позволяющая строить объемные геоэлектрические модели. Одним из вариантов анализа таких моделей является рассмотрение геоэлектрических срезов памятника по глубине (рис. 5).

Срез на глубине 0,5 м (здесь и далее глубина указана от поверхности) демонстрирует значительное распространение участков с повышенным и высоким УЭС (области красного оттенка, соответствующие диапазону УЭС больше 100 Ом·м) в слоях, близких к поверхности холма. Локальная проводящая аномалия присутствовала в северо-западном углу раскопа, где на тот момент был снят почвенный слой и проводились раскопки. Отмечено также более близкое расположение к поверхности отдельных проводящих аномалий на других участках. При этом на участке от 27 до 35 м по горизонтали и от 67 м по вертикали, где разбиралось заполнение крупногабаритной постройки, также фиксировалась аномалия с повышенным УЭС. Причиной этого стало интенсивное высыхание рыхлого заполнения постройки, разделенного остатками деревянных полов на прослойки небольшой мощности. По мере углубления фиксирова-

лось постепенное увеличение площадей проводящих аномалий (области синего оттенка).

Срезы на глубине 1,5, 2 и 2,5 м показывали постепенное проявление линейных проводящих аномалий, вытянутых с юго-запада на северо-восток, в соответствии с положением холма (обозначены красным пунктиром). На глубине 3 м эти образования становились еще более четкими. С отметки 4 м проводящие области уже начинали «расплываться», указывая тем самым нижние пределы продуктивного с точки зрения регистрации физических полей слоя.

Аномальные проводящие зоны, соответствующие расположению строений, группировались в две узкие (7–10 м) линейные структуры, расположенные параллельно. Построенные трехмерные изоповерхности для сопротивления 20 и 18 Ом·м также показывали наличие в теле холма двух линейных проводящих структур аналогичного расположения (рис. 6). Последующее увеличение площади раскопа вдоль западного края холма показало распространение застройки в южном направлении; все строения, за исключением малогабаритных построек в северо-западной части холма, находятся в пределах обозначенной здесь аномалии. Полученное соответствие позволяет высказать предположение, что образование данных аномалий на определенных высотах может быть связано с группированием здесь построек. При этом также не идет речь о распознавании отдельных архитектурных объектов.

Локализация на срезе в 6,5 м остаточных проводящих аномалий вдоль восточной стороны холма может быть связана с повышен-

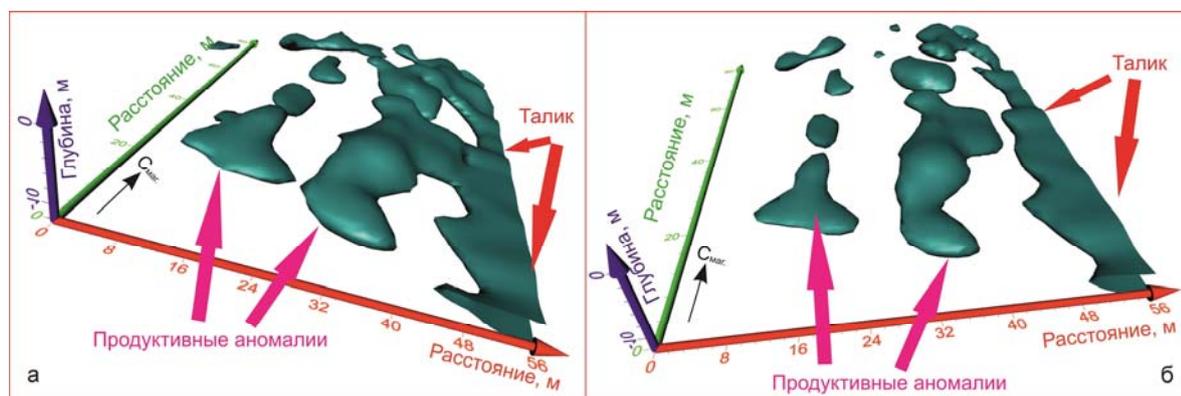


Рис. 6. Изоповерхности, построенные в результате 3D инверсии данных ЭТ для УЭС 20 Ом·м (а) и 18 Ом·м (б)

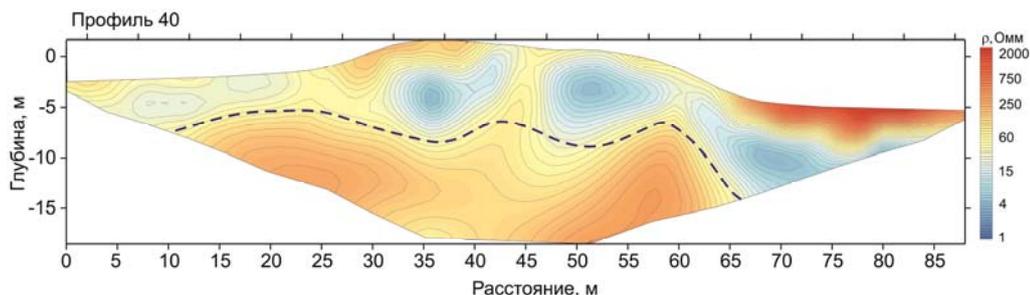


Рис. 7. Геоэлектрический разрез по профилю 40, построенный в результате инверсии данных ЭТ (пунктирная линия – граница многолетнемерзлых пород)

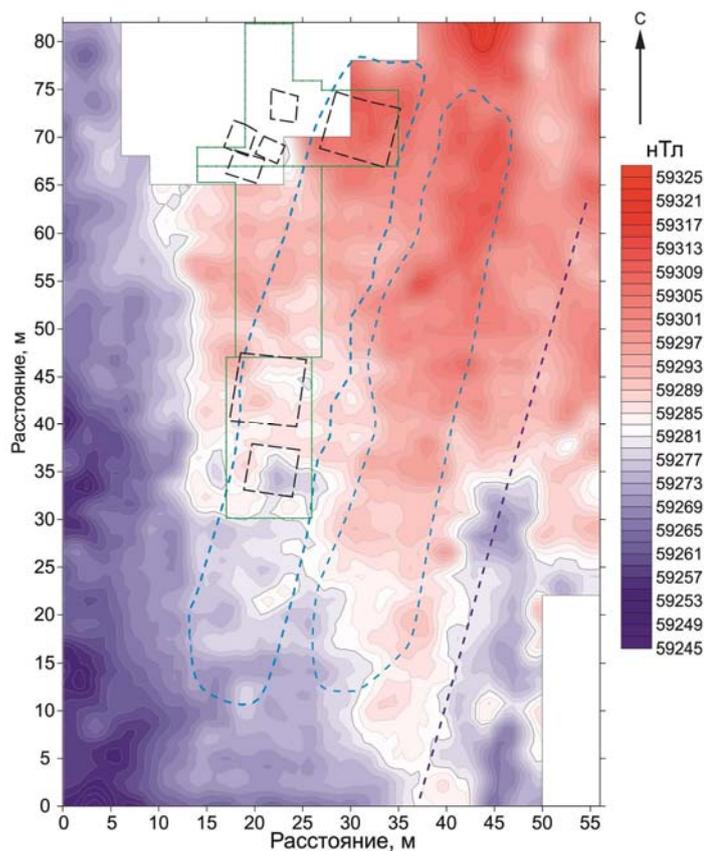


Рис. 8. Карта абсолютных значений полного геомагнитного поля (зеленая линия – раскопы разных лет; голубая пунктирная линия – проводящие линейные структуры, выделенные по данным ЭТ; черная пунктирная линия – обнаруженные строения; синяя пунктирная линия – граница непроводящей зоны, выделенная по данным ЭТ)

ной инсоляцией этого склона в летнее время, что приводило к сезонному оттаиванию отложений, приуроченных к данной экспозиции. Кроме того, в пойменной восточной части участка зафиксирована четкая граница непроводящей зоны с высокими параметрами УЭС (синяя пунктирная линия). Такую аномалию могут вызвать песчано-гравийные аллювиальные отложения, накопленные здесь в процессе половодья.

Помимо этого, трехмерные изоповерхности показывали наличие еще одной проводящей аномалии вдоль восточного пониженного края участка, приходящегося на ложбину (см. рис. 6). Она залегает значительно глубже аномалий, выявленных в теле холма. Ее происхождение мы связываем с зоной талика, наличие которой обусловлено воздействием сезонного половодья на многолетнемерзлые породы. Как показывает

дополнительный поперечный профиль 40, таликовая область залегает под речными отложениями, характеризуемыми высокими значениями УЭС (рис. 7, области красного оттенка, соответствующие диапазону УЭС от 100 Ом·м).

Измерения на дополнительном профиле 40 проведены с межэлектродным расстоянием меньше 2 м. Изменение шага позволило добиться большей глубины исследования. В итоге был получен разрез до глубины более 15 м. Зафиксировано, что уровень проявления мерзлоты с высокими значениями УЭС соответствует изменению рельефа. Распространение проводящих аномалий в теле холма на глубину, соответствующую его основанию, позволяет предположить однородную структуру отложений, формирующих холм, т. е. его искусственный характер.

Таким образом, по итогам ЭТ было установлено наличие в теле холма проводящего слоя с низким УЭС (до 20 Ом·м), который удалось проследить на глубину 4–5 м. По результатам 2D и 3D инверсий допустимо говорить о наличии в теле холма перспективных для археологического исследования двух линейных проводящих структур. Сопоставление с материалами раскопок позволяет предположить, что выявленным структурам могут соответствовать два ряда домов. При этом задача поиска отдельных объектов домостроения в силу физической характеристики искомым объектов и вмещающего их слоя решена не была.

Магниторазведка основана на измерении магнитного поля Земли и выявления изменений естественной структуры грунтов ввиду присутствия в них, в частности, объектов археологии. Известно, что магнитные свойства археологических объектов отличаются от магнитных свойств вмещающей их среды. При этом термическое воздействие на объекты значительно повышает степень их намагниченности. В связи с этим магниторазведка продуктивно используется, например, для определения местоположения различных теплотехнических устройств [Журбин, 2004. С. 85].

Методика проведения магниторазведки сводится к выбору вида съемок, их масштаба, направления профилей, густоты точек наблюдения, точности измерений и способа отображения результатов [Инструкция по магниторазведке..., 1981. С. 15]. На выбранном для измерений участке памятника про-

изведена детальная площадная магнитная съемка с целью выявления различных очажных устройств.

Оптимальными параметрами для измерений были выбраны: промежуток между точками наблюдений 0,5 с, расстояние между профилями 1 м, направление профилей с запада на восток. При исследовании применялся пешеходный ядерно-прецессионный (протонный) магнитометр GSM-19 производства GemSystem (Канада). Исследования проводились без вариационной станции, по этой причине каждые 30–40 минут записывался контрольный профиль и к нему приводились все остальные данные. Проверка корректности осуществлялась по соседним сигналам.

В результате измерений была построена карта абсолютных значений полного геомагнитного поля. Зафиксировано общее повышение магнитного поля с запада на восток. Однако сравнение результатов, полученных археологическим методом, с данными магнитометрии показало, что магнитная съемка в данном случае не решила задачу локализации очагов (рис. 8). Это может быть связано с отсутствием вариационной станции.

Тем не менее по результатам магнитометрии выделена зона с повышенным магнитным полем (красная область). На карте можно проследить направление ее распространения – с юго-запада на северо-восток, что коррелирует с данными ЭТ, показавшими наличие линейных проводящих структур, идущих в том же направлении. Следует также отметить расширение области повышенного магнитного поля на северо-восток, за пределы исследованного участка, в направлении северной уплощенной площадки. Повышенные значения магнитного поля, отмеченные на восточном склоне холма, могут быть вызваны остатками пожарищ, на присутствие которых указывалось еще до начала раскопок [Брусницына, 2003. С. 48]. Обращает на себя внимание участок с высоким значением магнитного поля на отметках от 27 до 35 м по горизонтали, где располагалась крупногабаритная постройка. С большой вероятностью он маркирует зону пожара, случившегося в один из периодов ее существования.

Метод георадиолокации основан на использовании классических принципов радиолокации. Генерируемый аппаратурой электро-

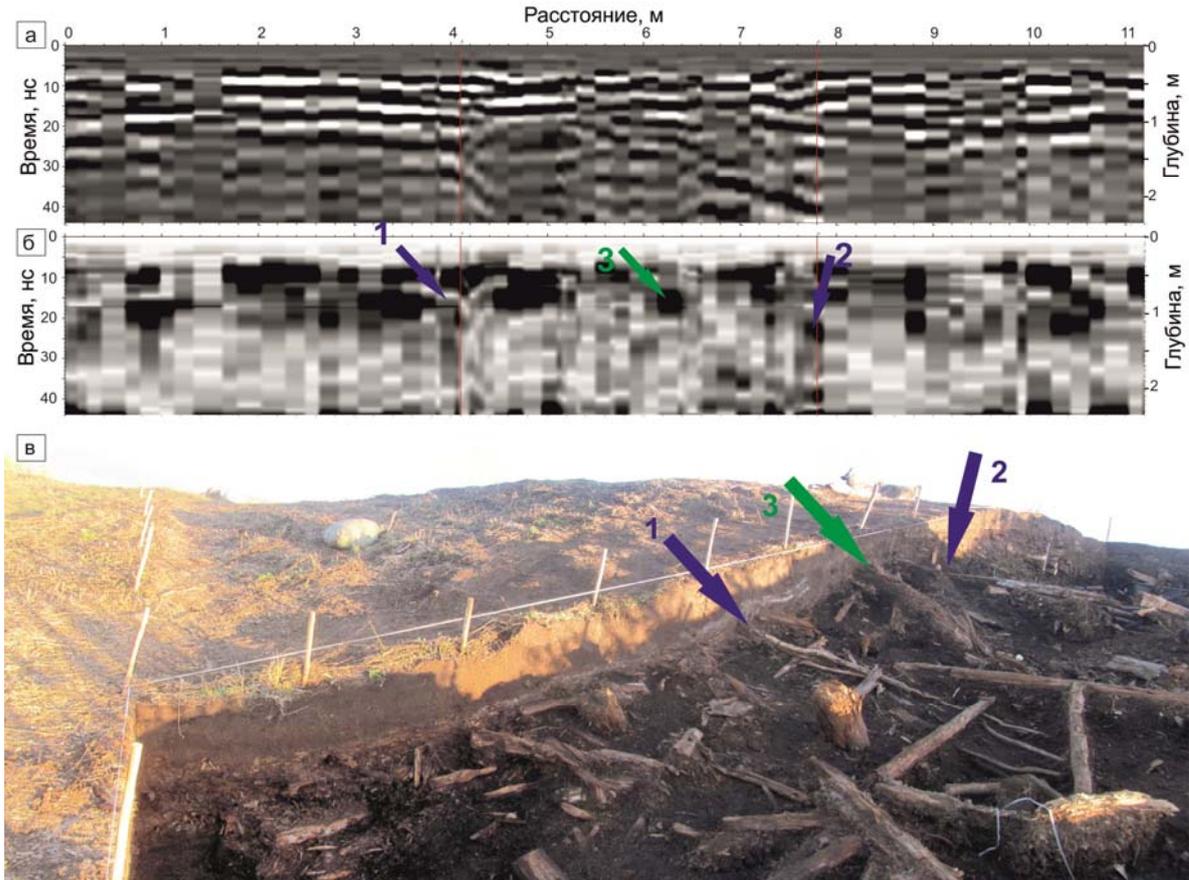


Рис. 9. Обработанная радарограмма (а) и разрез амплитуд отраженного электромагнитного сигнала (б) для профиля, проходящего вдоль раскопа (в) (стрелками указаны объекты, отображающиеся на радарограмме)

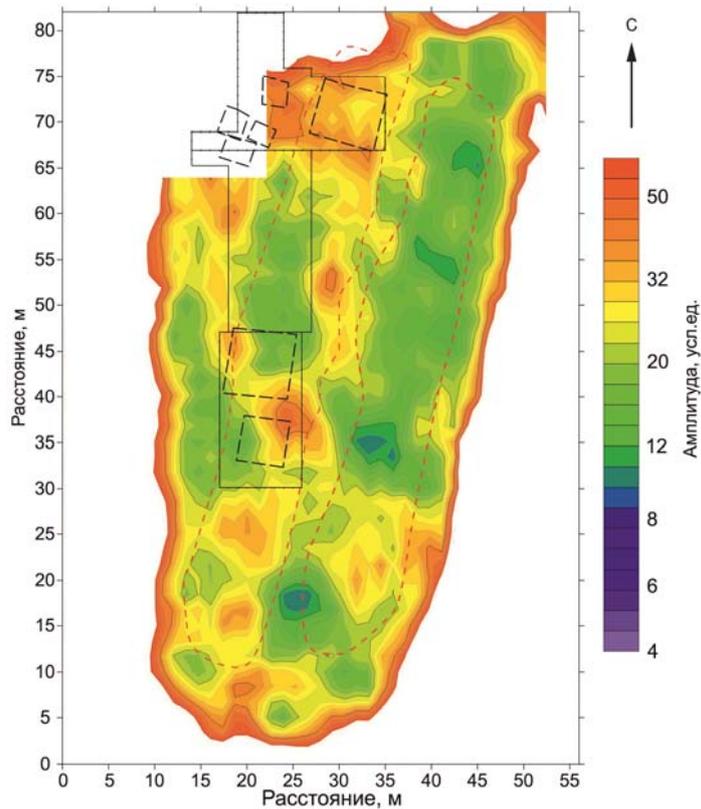


Рис. 10. Карта амплитуд отраженного электромагнитного сигнала для глубины 2,5 м (черная линия – раскопы разных лет; красная пунктирная линия – проводящие линейные структуры, выделенные по данным ЭТ; черная пунктирная линия – обнаруженные строения)

магнитный импульс отражается от границ объектов или иных неоднородностей, отличающихся от вмещающей среды по диэлектрической проницаемости или электропроводности. Такими структурами могут быть пустоты, границы слоев различных пород, области с различной влажностью и т. д. Основными величинами, измеряемыми при георадиолокации, являются время пробега электромагнитной волны от излучающего устройства до отражающей границы и обратно, до приемника, измеряемое в наносекундах, а также амплитуда этих отражений.

Глубинность и разрешающая способность георадиолокации зависят от центральной частоты спектра зондирующего импульса (чем ниже частота, тем глубже проникает электромагнитная волна) и удельного электрического сопротивления среды (среды с высоким сопротивлением характеризуются малым затуханием волн). При высокой пространственной плотности наблюдения (серии профилей на площади) существует возможность трехмерных построений, на которых прослеживаются те или иные особенности геологического или геотехнического строения объекта [Владов, Старовойтов, 2004].

Для проведения георадиолокационных исследований был применен георадар серии ОКО-2 производства ООО «Логические системы» (Москва) с антенным блоком центральной частоты 250 МГц. В средах с низким коэффициентом затухания электромагнитной волны этот антенный блок обеспечивает глубинность 7–8 м и разрешающую способность по глубине 0,25–0,5 м. Культурные слои представлены мерзловлажными органическими отложениями, в которых затухание сигнала значительно выше. В силу этого предполагалось, что глубинность исследования будет меньше и составит величину порядка 4–5 м. Сеть измерений состояла из параллельных профилей, проходящих поперек длинной оси холма с шагом 1 м. Перед началом измерений устанавливались следующие настройки: временная развертка – 100 нс, накопление – 32 импульса в каждой точке зондирования; шаг зондирования по профилю (расстояние между соседними точками) – 0,05 м; средняя диэлектрическая проницаемость среды – 6. Выбранная временная развертка позволяла изучить разрез на максимально возможную глубину. Высокая степень накопления установлена для

снижения влияния случайных помех. Перемещение прибора по профилям осуществлялось волоком. Пройденное расстояние фиксировалось с помощью датчика перемещения. Обработка радарограмм проводилась в программе GeoScan32 (ООО «Логические системы») и включала редактирование временной развертки, вычитание среднего, медианную фильтрацию, изменение профиля усиления. Кроме профилей строились карты амплитуд отраженного электромагнитного сигнала на разных временах, что соответствовало разным глубинам.

В режиме тестовой записи электромагнитного импульса, т. е. при непосредственном визуальном сопоставлении ситуации на конкретном участке действующего раскопа с радарограммой этого же участка, удалось проследить соответствие между некоторыми аномалиями и отдельными деревянными объектами (рис. 9). Так, на разрезе амплитуд стрелочкой показаны предметы, которые на радарограмме обозначены метками 1 и 2. Помимо них хорошо выделяется бревно (метка 3). В реальности же искомые архитектурные объекты по результатам анализа радарограмм не были выявлены. Это иллюстрирует карта амплитуд отраженного электромагнитного сигнала для глубины 2,5 м с наложенной на нее схемой размещения исследованных архитектурных объектов (рис. 10): часть построек попала в области с интенсивными отражениями (красные зоны), а другие – в зоны без отражений (зеленые зоны).

Данные результаты были обусловлены особенностями строения культурных отложений на памятнике (плотная застройка, хаотичное расположение древесины в межжилищном пространстве), демонстрирующих достаточно сильную зашумленность и, как следствие, ограниченные возможности метода при поиске архитектурных объектов в данных условиях. Другой причиной, ограничивающей использование этого метода, вероятно, является малая контрастность по физическим свойствам искомым объектам и вмещающего их слоя.

Общей закономерностью для карт амплитуд является наличие двух линейных областей, характеризующихся пониженным и повышенным значениями амплитуд сигнала. Важно отметить, что их локализация совпадает с размещением линейных аномалий, выделенных с помощью ЭТ. Однако в

отличие от них в последнем случае границы линейных областей четко не маркировались. Это, скорее всего, связано с разной интенсивностью процесса сезонного оттаивания склонов холма. Западный склон прогревается меньше и соответственно оттаивает меньше; на восточной стороне прогревание идет более интенсивно. Разная увлажненность как перекрывающего почвенного слоя, так и кровли слоя щепы может быть причиной отличий в затухании георадиолокационного сигнала.

Подводя итоги, отметим, что ходе комплексных археолого-геофизических работ на городище Усть-Войкарское, являющемся, по сути, многослойным поселенческим комплексом и характеризующемся наличием мерзлых культурных слоев, представленным главным образом органическими отложениями, где плотно расположены руины деревянных построек, размещенные в несколько ярусов, были апробированы методы геофизической разведки для работы в области археологии на слоях с подобной структурой.

По материалам проведенного двумерного анализа данных ЭТ на городище выделен продуктивный слой, который характеризуется более низким сопровлением по отношению к перекрывающему слою и подстилающей мерзлоте. Результаты 3D инверсии данных ЭТ позволили уточнить параметры этого слоя, а также выделить в теле холма две длинные линейные проводящие структуры. Они параллельны друг другу и ориентированы по линии северо-восток – юго-запад.

Ввиду особенностей строения памятника на исследованном участке выделение архитектурных объектов по результатам инверсий имеющихся данных не представляется возможным.

Магнитная съемка и георадиолокация также не выявили отдельных аномалий, соответствующих конкретным постройкам, но подтвердили результаты трехмерной инверсии ЭТ относительно выделения двух линейных аномальных зон.

Соотнесение результатов, полученных геофизическими методами, с натурными объектами, выявленными при последующих раскопках, позволили предположить, что данные линейные аномалии могут соответствовать улице с двумя рядами строений. Однако это предположение требует дальнейшей верификации археологическими методами. При

отсутствии предварительной информации об искомым объектах невозможно определенно связать выявленные аномалии с антропогенными объектами.

В целом, задействованные геофизические методы не позволили в полной мере реализовать задачи поиска археологических объектов в данных условиях. Тем не менее их комплексное применение позволяет определять параметры и границы распространения культурного слоя, выделять по результатам анализа измеренных данных некоторые мегаструктуры, связанные с определенными типами археологических памятников. Выявленные ограничения в применении данных геофизических методов могут существенно осложнить возможность получения оперативной разноплановой информации о параметрах археологического памятника при планировании охранно-спасательных археологических мероприятий. В этой связи необходимо отметить, что значительная мощность органических отложений, в частности отходов деревообработки, формирующих культурные слои на поселенческих памятниках археологии, присуща не только объектам с мерзлым культурным слоем. В силу совокупности различных условий формирования таких отложений, сопутствующих остаткам деревянного строительства, отмечено и в более южных регионах Сибири, в том числе на участках, предназначенных для хозяйственного освоения (см., например: [Баранов, Руммега, 2008; Лысенко, Тарасов, 2014]).

Методами геофизики было установлено, что ликвидация почвенного покрова над столь специфическими культурными отложениями приводит к интенсификации процессов их сезонного оттаивания и влечет угрозу потери высокого информативного содержания таких слоев. Этот фактор также необходимо учитывать при долговременном исследовании подобных памятников и предусмотреть способы их консервации.

Для повышения качества проведения геофизических работ на памятниках такого типа в электротомографии рекомендуется использовать еще более мелкий шаг, а в магниторазведке возможно получение приемлемых результатов при использовании базовой станции.

Список литературы

Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А., Манштейн А. К., Белобородов В. А. Элек-

тротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика. 2012. № 6. С. 54–63.

Баранов М. Ю., Руммега С. И. Натурное обследование урочища Чебыково на Приобском месторождении нефти в Ханты-Мансийском районе ХМАО-Югры // Ханты-Мансийский автономный округ в зеркале прошлого. Тюмень; Ханты-Мансийск: РИФ КоЛеСо, 2008. Вып. 6. С. 206–210.

Брусницына А. Г. Городище Усть-Войкарское. Начало изучения // Культурное наследие народов Западной Сибири: Материалы VI Сибирского симпозиума. Тобольск: ТГИ-АМЗ, 2003. С. 45–52.

Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.

Гурская М. А. Дендрохронологическая датировка археологических образцов древесины городища Усть-Войкарского (Северо-Западная Сибирь) // Фауна и флора Северной Евразии в позднем кайнозое. Екатеринбург; Челябинск: Рифей, 2008. С. 212–231.

Гусев А. В., Ражев Д. И., Слепченко С. М., Зайцева О. В., Пушкарев А. А., Водясов Е. В., Вавулин М. В. Археологический комплекс Зеленый Яр: новые технологии полевых исследований // Уральский исторический вестник. 2014. № 2. С. 89–96.

Журбин И. В. Археология и геофизика: принципы комплексных исследований // РА. 2004. № 3. С. 79–88.

Инструкция по магниторазведке. Наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка. Л.: Недра, 1981. 263 с.

Лысенко Д. Н., Тарасов А. Ю. Проблемы сохранения и перспективы исследований археологических объектов на территории города Енисейска // Проблемы сохранения и использования культурного наследия: история, методы и проблемы археологических исследований. Екатеринбург: Изд-во Горбуновой, 2014. С. 137–143.

Новиков А. В., Гаркуша Ю. Н., Шейн А. Н. Продолжение археолого-геофизических исследований Войкарского городка в 2014 году // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2014. Т. 20. С. 251–254.

Федорова Н. В. Войкарский городок. Итоги раскопок 2003–2005 гг. // Научный вестник. 2006. Вып. 4. С. 11–17.

Эпов М. И., Молодин В. И., Чемякина М. А. Итоги и перспективы геофизических исследований археологических памятников Алтая и Западной Сибири // Современные проблемы археологии России. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2006. Т. 8. С. 76–90.

Материал поступил в редколлегию 19.09.2017

A. N. Shein^{1,3}, Yu. N. Garkusha², A. V. Novikov²

¹ Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS
3 Academician Koptyug Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

² Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

³ Zabaykalsky State University
30 Aleksandro-Zavodskaya Str., 30, Chita, 672039, Russian Federation

SheinAN@ipgg.sbras.ru

USE OF GEOPHYSICAL METHODS ON SETTLEMENT COMPLEXES OF THE CIRCUMPOLAR REGION (BASED ON HISTORICAL SETTLEMENT OF UST-VOIKARSKOE)

Purpose. The settlement of Ust'-Voykarskoe is situated in the Lower Ob region (Shuryshkarsky raion of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug, Russia). Its materials characterize the aboriginal

culture of the peoples who lived in north-western Siberia in the period of the late Middle Ages. The site is just one of the few multilayered settlement complexes with a frozen cultural layer that became an object of archeological research in Siberia. A historical interpretation of the site was offered by the first researchers of the settlement (A. G. Brusnitsyna, N. V. Fedorova). They believe that the site in question is known as an «ostyak» (Khanty) town of Voikar according to some folklore and written sources. The cultural layer is represented by organic deposits (mainly, accumulated wastes of wood processing) of high power.

Results. The permafrost has preserved the wooden architecture of the site quite well. It is represented by ruins of buildings of various designs and purposes. In the cultural layer, the ruins occupy several levels belonging to the different periods of settlement functioning. According to the dendrochronological analysis conducted by the dendrochronologist M. A. Gurskaya, we recognize a residential development of the beginning of the 14th century, then the middle or the last third of the 17th century – the beginning of the 18th century, and also the beginning of the 19th century. The complex of archaeological and geophysical work conducted included various methods of geophysical exploration tested on the site for the benefits of archeology. We used electromotography, magnetometry and georadiolocation on layers with similar structure. Based on the results of the two-dimensional analysis of the data of electrotomography, we distinguished a layer characterized by a lower resistance to the overlapping soil layer and underlying permafrost. This layer extends up to 4–5 meters deep from the top surface of the hill. Based on the results of the 3D inversion of the electrotomography data, two long parallel linear conductive structures were identified in the body of the hill. Their presence was confirmed by magnetic survey and georadiolocation. When compared to the archaeological realities, they were interpreted as buildings arranged in two rows.

Conclusion. Additional excavations are required to verify our assumption. The specificity of the cultural layer structure, as well as a low contrast in the physical properties of wooden structures and their environment, do not allow us to determine the location of certain buildings by the methods of geophysical exploration. The restrictions in the application of geophysical methods that we faced may complicate the possibility of getting operational information on the structure of an archaeological site when planning the protective and rescuing archeological work. However, it is obvious that by removing the soil cover we tend to intensify the processes of the cultural layer's seasonal thawing, which is a threat to its informative potential.

Keywords: Lower Ob region, Ust-Voikarskoye settlement, permafrost, geophysics, electrotomography, magnetometry, georadiolocation.

References

Balkov E. V., Panin G. L., Manshtein Yu. A., Manshtein A. K., Beloborodov V. A. Elektrotomografiya: apparatura, metodika i opyt primeneniya [Electrotomography: Its Apparatus, Method and Experience in Application]. *Geofizika [Geophysics]*, 2012, no. 6, p. 54–63. (in Russ.)

Baranov M. Yu., Rummega S. I. Naturnoe obsledovanie urochishcha Chebykovo na Priobskom mestorozhdenii nefi v Khanty-Mansiiskom raione KhMAO-Yugry [Field Study of Chebykovo Slow at the Priobskoe Oil-field in the Khanty-Mansisk District of the Khanty-Mansi Autonomous Area]. *Khanty-Mansiiskii avtonomnyi okrug v zerkale proshlogo [Khanty-Mansi Autonomous Area in the History of the Past Times]*. Tyumen', Khanty-Mansiisk, RIF KoLeSo Publ., 2008, iss. 6, p. 206–210. (in Russ.)

Brusnitsyna A. G. Gorodishche Ust'-Voikarskoe. Nachalo izucheniya [Ust-Voikarskoe Site: the Beginning of Study]. *Materialy VI Sibirskogo simpoziuma «Kul'turnoe nasledie narodov Zapadnoi Sibiri» [The Proceedings of the 6th Siberian Symposium Cultural Heritage of the Western Siberian People]*. Tobol'sk, TGIAMZ Publ., 2003, p. 45–52. (in Russ.)

Epov M. I., Molodin V. I., Chemyakina M. A. Itogi i perspektivy geofizicheskikh issledovaniy arkhelogicheskikh pamyatnikov Altaya i Zapadnoi Sibiri [The Results and the Prospects of Geophysical Investigations of Archaeological Objects in Altai and Western Siberia]. *Sovremennyye problemy arkheologii Rossii [Modern Problems of Russian Archaeology]*. Novosibirsk, IAE RAS Publ., 2006, vol. 1, p. 76–90. (in Russ.)

Fedorova N. V. Voikarskii gorodok. Itogi raskopok 2003–2005 gg. [Voikarsky Settlement. The Results of the Archaeological Studies in the 2003–2005]. *Nauchnyi vestnik [Scientific Bulletin]*, 2006, iss. 4, p. 11–17. (in Russ.)

Gurskaya M. A. Dendrokronologicheskaya datirovka arkheologicheskikh obraztsov drevesiny gorodishcha Ust'-Voikarskogo (Severo-Zapadnaya Sibir') [Tree-Ring Dating of the Archaeological Wooden Objects from the Ust'-Voikarskoe Site]. *Fauna i flora Severnoi Evrazii v pozdnem kainozoe [Fauna and Flora of the Northern Eurasia in the Paleogene]*. Yekaterinburg, Chelyabinsk, Rifei Publ., 2008, p. 212–231. (in Russ.)

Gusev Al. V., Razhev D. I., Slepchenko S. M., Zaitseva O. V., Pushkarev A. A., Vodyasov E. V., Vavulin M. V. Arkheologicheskii kompleks Zelenyi Yar: novye tekhnologii polevykh issledovaniy [Archaeological Complex Zeleny Jar: New Field Research Technologies]. *Ural'skii istoricheskii vestnik [Ural Historical Journal]*, 2014, no. 2, p. 89–96. (in Russ.)

Instruktsiya po magnitorazvedke. Nazemnaya magnitnaya s'emka, aeromagnitnaya s'emka, gidromagnitnaya s'emka [A Manual for the Magnetic Intelligence. Land, Aerial and Gydro Magnetic Survey]. Leningrad, Nedra Publ., 1981, 263 p. (in Russ.)

Lysenko D. N., Tarasov A. Yu. Problemy sokhraneniya i perspektivy issledovaniy arkheologicheskikh ob'ektov na territorii goroda Eniseiska [The Problems of Preservation and the Prospects of Investigations of the Archaeological Objects at the Territory of the City of Eniseisk]. *Problemy sokhraneniya i ispol'zovaniya kul'turnogo naslediya: istoriya, metody i problemy arkheologicheskikh issledovaniy [The Problems of Preservation and the Usage of Cultural Heritage: History, Methods and Problems of Archaeological Researches]*. Yekaterinburg, Gorbunova Publ., 2014, p. 137–143. (in Russ.)

Novikov A. V., Garkusha Yu. N., Shein A. N. Prodolzhenie arkheologo-geofizicheskikh issledovaniy Voikarskogo gorodka v 2014 godu [Continue Archaeological and Geophysical Investigations of Voikarsky Settlement in the 2014]. *Problemy arkheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territorii [The Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Cross-Border Regions]*. Novosibirsk, IAE SB RAS Publ., 2014, vol. 20, p. 251–254. (in Russ.)

Vladov M. L., Starovoitov A. V. *Vvedenie v georadiolokatsiyu [Introduction to Ground Penetrating Radar]*. Moscow, MGU Publ., 2004, 153 p. (in Russ.)

Zhurbin I. V. Arkheologiya i geofizika: printsipy kompleksnykh issledovaniy [Archaeology and Geophysics: Principles of Complex Investigation]. *Rossiiskaya arkheologiya [Russian Archaeology]*, 2004, no. 3, p. 79–88. (in Russ.)