

**А.В. Коробейников
В.В. Мингалёв**

**ОПЫТЫ ДИНАМИЧЕСКОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ В АРХЕОЛОГИИ**

Ижевск 2006

УДК 902.322+550.3
К 68

Рецензенты:

А.М.Белавин, доктор ист. наук, профессор Пермского Государственного университета, Пермь

Ю.А.Ельцов, канд. техн. наук, главный специалист-геофизик ООО ПКФ “ЕС”, Ижевск

EXPERIMENTS WITH DYNAMIC STACK PROBE
IN COURSE
OF ARCHAEOLOGICAL EXCAVATIONS
A.V.Korobeinikov, V.V.Mingalev
Izhevsk, 2006
(See p.53, please)

Глава “Динамическое зондирование на раскопках могильника Пыштайн II в сезоне 2005г.” написана В.В.Мингалёвым и А.В.Коробейниковым.
Остальные главы- А.В.Коробейниковым.

Коробейников А.В., Мингалёв В.В.

Опыты динамического зондирования в археологии. – Ижевск:
НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2006. – 60 с.

Книга посвящена описанию простого способа и устройства для неразрушающего исследования культурного слоя. Авторы описывают геофизические основания и результаты применения ударного зонда на нескольких археологических памятниках Прикамья.

ISBN 5-93972-557-0

© А.В. Коробейников, 2006
© В.В. Мингалёв, 2006

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Изучение специальной литературы приводит нас к заключению, что историки в массе своей реконструируют оборонительные, жилые и хозяйственные сооружения древности руководствуясь либо собственной интуицией, либо по аналогии с современными постройками. Недостатки такого подхода очевидны: интуиция индивида ограничена его жизненной опытностью, а современный фортификатор и строитель руководствуются частными мотивами, которые могут не совпадать с мотивами исторического субъекта. Таким образом, приходится констатировать, что реконструкции, не подкреплённые точным расчётом и теоретически не верифицируемые, являются реконструкциями гадательными и в силу своей неопределённости вряд ли могут быть приняты в качестве базы данных для исторических концепций.

Историк, поставивший перед собой задачу реконструировать доисторическое грунтовое сооружение, может делать обоснованные предположения о его устройстве и габаритах, исходя из того, что свойства грунтовых строительных материалов неизменны в исторической ретроспективе. (Так, если угол естественного откоса для песка определённой крупности и влажности равен 35 градусам, то штабель примет такой угол откоса вне зависимости от того, в каком веке его насыпали.) Для реконструкции надо лишь обладать базой данных о свойствах материалов и базой правил для умозаключений. Но как получить нужные данные?

Для того, чтобы прояснить специфику археологического исследования обозначим круг задач реконструктора грунтовых сооружений, обрисовав доступный ему объём информации.

Как правило, археологическая публикация о раскопках древнего городища сопровождается изображением разреза вала. На таких изображениях видно, что раскопанная насыпь:

- имеет многослойную структуру,
- габариты слоёв (их проекции на горизонталь) могут быть определены измерением по чертежу,
- толщина слоёв может быть определена измерением по масштабу,
- углы откоса слоёв могут быть обозначены приблизительно, как касательные от горизонтали к их поверхности,
- состав слоёв в соответствии с некоторой номенклатурой (например: жёлтый плотный песок) может быть установлен по легенде к плану,
- гребень вала в массе случаев разрушен, и слои, составляющие вал, разрываются в гребневой части,
- в некоторых случаях гребневая часть и откосы имеют следы деревянных конструкций или каменных выкладок,
- в теле вала может быть каркас из дерева или камня

Конечно, такое изображение историк имеет после того, как археологи в ходе раскопок получили непосредственный доступ к грунту, который служил строительным материалом для доисторических сооружений. Они идентифи-

цируют грунты, как правило, в трёх связанных номенклатурах: визуально по цвету (серо-коричневый, пестроцвет и т.д.), субъективно по плотности (рыхлый, плотный), и, опять же, на глаз, по составу (глина, суглинок, супесь, песок и т.п.).

Выделенные слои изображаются на вертикальных и горизонтальных разрезах раскопа для стратиграфической и планиграфической оценки состава культурного слоя. При этом аномалии грунтовой толщи (органические и иные включения) видны на разрезе и отражаются на планах в виде контрастных пятен. Однако, этот способ исследования и фиксации имеет свой недостаток-тот или иной археолог изображает слои грунта в соответствии со своим субъективным восприятием цвета и плотности, с использованием если не собственной, то произвольной, или во всяком случае, не универсальной номенклатуры. Следовательно, такой разрез не несёт информации о строительных, прочностных (или, в широком смысле физических) свойствах использованного древним строителем материала, ведь изучение физических свойств должно производиться инструментально. Видимо, такое положение обусловлено прежде всего тем, что в соответствии с общепринятой практикой ни у зарубежного [1], ни у российского археолога нет пока ни задачи [2] ни метода [3] для изучения строительных (физических) свойств грунтового материала. Но можно ли повысить информативность полевых отчётов исходя из потребностей реконструкции грунтовых сооружений?

Представляется справедливым, что естественнонаучные методы, в случае внедрения их в практику извлечения и анализа археологических источников, могут дать массивы объективной информации. Для реконструкции надо лишь обладать базой данных о свойствах материалов и базой правил для умозаключений. Так как же получить нужные данные? Каковы объём и содержание этих данных?

Понятно, что если историк поставил перед собой задачу восстановить, к примеру, первоначальный облик оборонительных сооружений, то первое, что он должен сделать, так это восстановить вал, ибо он служил основанием для построек (навалных сооружений). С другой стороны, достоверно реконструированные параметры вала несут информацию об оружии, которое преимущественно применяли его защитники и позволяют оценивать оборонительные качества всей фортификации [4,5,6]. Но первоначальная высота вала вследствие разрушения насыпи часто не фиксируется. Иногда она может быть вычислена как высота трапеции или треугольника, у которого известно основание, и могут быть известны углы при основании т.е. откосы. Однако, что делать, если насыпь имеет слоистую структуру, и слои почти горизонтальны, то есть касательная к ним не даст линии откоса? Или откосы не видны вследствие оплывания или распахивания? Тогда за исходное значение для реконструкции сооружения полагаем принять угол естественного откоса для грунта насыпи, если рассматривать её в качестве многослойного штабеля (в предположении отсутствия внутривальных конструкции и укрепления откоса облицовкой, каменной крепидой и пр.). Как этот угол определить? Проще всего это сделать опытным путём на натуре, когда археологи разрезают

вал раскопом. Грунт (разумеется, не весь) каждого из идентифицированных слоёв (отдельно песок, отдельно обнаруженный в насыпи тот или иной пестроцвет и т.д.) можно свалить в небольшой штабель конической или призматической формы. Откос такого штабеля по отношению к горизонту может быть измерен в простейшем случае рейкой и транспортиром. Для чистоты опыта грунт, видимо, следует взять в его наихудшем, сыпучем (то есть, сухом) состоянии и уплотнить его ударами лопатой плашмя по поверхности откоса.

В основу данного способа реконструкции может быть положена закономерность, эмпирически установленная и используемая в практике современного строительства: известно, что “при напластовании различных видов грунтов крутизну откоса для всех пластов надлежит назначать по наиболее слабому виду грунта” [7, с.163]. Следовательно, если для слоя песка получено значение 30° , а для слоя пестроцвета 40° , то откос всей насыпи в то время, когда она стояла, был близок к 30° . А можно ли получить данные о строительных свойствах грунтов древних сооружений без масштабных раскопок?

Можно попытаться это сделать через исследование грунта, обнажённого вертикальным разрезом (например, разведочным шурфом). В соответствии с разработанными у строителей методиками, в грунт каждого слоя вдавливают конический наконечник, к которому присоединён динамометр. Показатели сопротивления песка и глины, например, отличаются в разы, и перепутать эти грунты по данному параметру невозможно. То есть теоретически, имея в руках данные о сопротивляемости каждого из слоёв насыпи на всём её протяжении, можно обоснованно реконструировать её первоначальный вид.

Конечно, в соответствии с применяемыми методиками археологи уже используют в своей практике некоторые известные свойства грунтов, которые позволяют применять методы неразрушающего исследования.

На сегодняшний день в археологии для исследования грунта на площадке раскопа (культурного слоя) применяется целая гамма геофизических методов (См. их подробное описание: [9]). Эти методы дают информацию о физических свойствах слоёв грунта (электропроводности, плотности и т.д.) и позволяют обнаруживать крупноразмерные артефакты или следы сооружений (валы, жилищные и хозяйственные ямы, западения культурного слоя и т. п.), которые не имеют следов на современной дневной поверхности. Однако, все геофизические способы требуют применения дорогостоящей аппаратуры, исследования в поле привязаны к источникам электроэнергии. Они требуют значительных финансовых вложений и трудозатрат, что ограничивает сферу и частоту их применения.

Способ исследования земли с помощью щупа намного проще и позволяет выявить неоднородность грунтовой толщи и сделать предположения об антропогенном характере такой неоднородности. Таким способом определяют приблизительное расположение жилищных, хозяйственных и иных ям: счи-

тается, что заполнение ямы мягче её дна [10, с.86, 99, 117].¹ Однако этот способ имеет существенный недостаток: погружая щуп в исследуемую среду (культурный слой) исследователь оценивает разницу сопротивления проникновению в зависимости от глубины погружения, но при этом он руководствуется собственными ощущениями и оперирует критерием “твёрже-мягче”. Градации признака тут хотя и возможны, но они субъективны, поэтому невозможна и фиксация абсолютных значений сопротивления проникновению щупа в зависимости от глубины его погружения. Следовательно, невозможна и формализация результата для создания базы данных об исследованной площади. (“Твёрже-мягче”- это относительная оценка, а при моделировании культурного слоя следует знать абсолютные значения сопротивляемости на разных глубинах). Кроме того, глубина зондирования здесь ограничивается физической силой конкретного индивида. Тем не менее, прощупывание грунта, вследствие его простоты и дешевизны можно принять в качестве прототипа метода, описанного ниже.

Разумеется, строительные и иные (прочностные, деформационные и пр.) свойства грунтов изучаются строителями [11]. Однако, строители решают свои задачи. К примеру, для выделения инженерно-геологических элементов, исследования несущей способности сваи или основания под фундаментом они изучают слои грунта путём зондирования на глубину до двадцати метров, куда археологи, кроме, пожалуй, “палеолитчиков” как правило, не попадают, и объектов своего интереса там не имеют (культурный слой или искусственный грунт на поселениях и могильниках не имеет такой мощности). Кроме того, строителей интересуют сильные взаимодействия и громадные величины нагрузок от современных сооружений, которых просто нельзя было ожидать от рукотворных насыпей и деревянных построек древности. И если для археолога слой инородного грунта в насыпи вала или в заполнении могильной ямы в 5...10 см. может многое сказать археологу, то современный строитель, изучая стройплощадку такой слой или линзу просто не заметит, а заметив, не станет изучать их свойства, ибо влияние последних на общий расчёт прочности грунтового основания ничтожно. Наконец, применяемые строителями зондировочные приборы громоздки (штанга с молотом перевозится на грузовом автомобиле), а стандартный зонд (его диаметр более 4 см.) может разрушить артефакты, содержащиеся в культурном слое и оставить следы на горизонтальной зачистке.

¹ Пожалуй, первыми свидетельствами применения щупов в Российской археологии в целях получения стратиграфической информации можно считать датируемые 1859 годом “Правила производства археологических изысканий в Керчи”. В соответствии с названным документом предписывалось использовать щуп, имеющий “во всю длину от одного конца до другого ложбину с круто загнутыми боками, для того, чтобы при вытягивании его оставшаяся в ней земля показывала, через какие слои он проходит” [12]. Видимо, первым свидетельством применения щупа в целях выявления грунтовых аномалий и поиска крупноразмерных артефактов следует признать датируемое 1851 годом “Наставление, как надлежит поступать при открытии древностей”, утверждённое Одесским Обществом истории и древностей, в соответствии с которым следовало: “Внизу разреза <кургана> во все стороны посредством щупа, разведывать, нет ли складенных стен или гробниц...” [13, с. 637]

Кроме того, существующие способы исследования свойств грунтов в лабораториях строительных организаций [14], во-первых, весьма затратны, а во-вторых, вряд ли могут быть конвертированы для реконструкции древних технологий и сооружений. Например, для того чтобы опытным путём определить угол естественного откоса сыпучего грунта, лаборант-строитель помещает образец (например, поднятый буром) в коробочку с прозрачной стенкой, либо высыпает пригоршню грунта на стол и производит измерения. При этом инструкция к проведению опыта особо подчёркивает, что грунт не должен иметь комочков и посторонних включений. Разумеется, древние насыпи не строились из стерильных и просеянных грунтов, укладываемый грунт уплотнялся (трамбованием? проливался водой?) поэтому историк, следуя принципу достоверности должен искать иные методы. Кроме того, строитель везёт грунты в лабораторию, а не исследует на месте просто в силу тотальной механизации работ на стройплощадке, а также потому, что ошибка лаборанта может привести к фатальным последствиям (просадкам фундамента и т.п.). В нашем же случае, ошибка историка-реконструктора может быть исправлена его коллегами в ходе научной дискуссии, а исследование в поле не намного увеличит трудоёмкость раскопок, ведь труд археолога пока остаётся ручным.

Таким образом, исследовательские задачи реконструктора и отмеченные недостатки существующих методов ставят на повестку дня вопрос о разработке простой и эффективной методики получения и интерпретации цифровых данных о физических свойствах грунтов в целях археологических раскопок и разведок.

Тем не менее, чтобы не изобретать велосипеда, полагаем оправданным обратиться к использованию давно апробированных строителями принципов полевых испытаний [15,16, 17], приняв в качестве ближайших аналогов предлагаемому методу и устройству метод и устройство для динамического зондирования по ГОСТ 19912-81 [11], а также ручной пенетромтр-ударник У-1, который используется в аэродромной службе для оценки проходимости грунтовых лётных полей [18].

Описание метода

Отмеченная зависимость между сопротивляемостью погружению и составом грунта позволяет исследовать культурный слой (искусственный грунт) простейшим методом, который не оказывает сколь-нибудь заметного разрушающего воздействия. Для того, чтобы установить эту зависимость для грунтов конкретного археологического памятника, например, для насыпи вала, эта насыпь, разрезанная раскопом (или стратиграфия культурного слоя, разрезанного разведочным шурфом) и изображённая в произвольной номенклатуре грунтов, зондируется штангой (с коническим наконечником или с коническим заострением). По штанге наносят стандартные удары молотом, сбрасывая его каждый раз с постоянной высоты. (Следовательно, энергия каждого из ударов составляет постоянную величину.) При этом фиксируют количество ударов, необходимых для заглубления зонда на определённую

глубину (например, на 5 см.). Для более точной фиксации заглубления относительно поверхности земли в условиях рыхлого грунта или дёрна эту поверхность маркируют любым подходящим плоским предметом. Например, на траву можно положить лезвие лопаты, наступить на него ногой и отмечать заглубление зонда относительно этого лезвия.

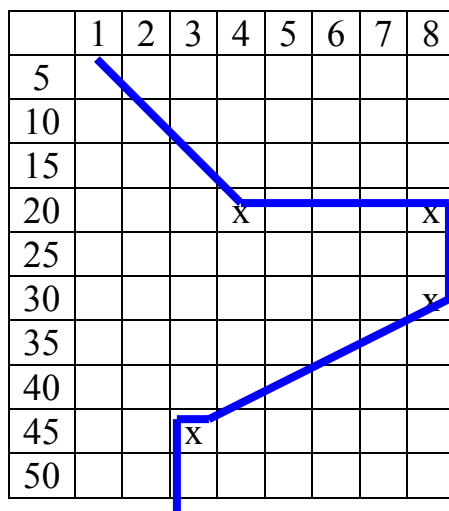


Рис.1

График зондирования:

Цифры на горизонтальной оси указывают количество ударов n , а цифры на вертикальной оси — глубину погружения зонда, см.

Результаты заносят в таблицу, на основании которой строят график зависимости сопротивления грунта от глубины погружения зонда (*Рис. 1*). Такой график в соответствующем масштабе может быть наложен на вертикальный разрез вала, для того чтобы исследователь сразу видел характеристики сопротивления каждого из слоёв культурного слоя. В соответствии с названным ГОСТом, для глубин не более 100 см. за величину сопротивления зонда принимают значение лишь его лобового сопротивления, а силами трения в скважине пренебрегают.

Приведённый пример позволяет дешифровать график зондирования приблизительно так:

- на глубине до 15 см. рыхлая сыпучая почва (например, тёмно-серая супесь),
- на глубине от 20 до 35 см. слой прочного грунта (например, красная глина),
- под ним снова рыхлый сыпучий грунт (например, жёлтый песок).

Полученные при пробном зондировании цифровые значения сопротивления для разных грунтов могут быть приняты в качестве эталонных для данного раскопа. С их помощью можно дешифровать результаты остальных зондирований.

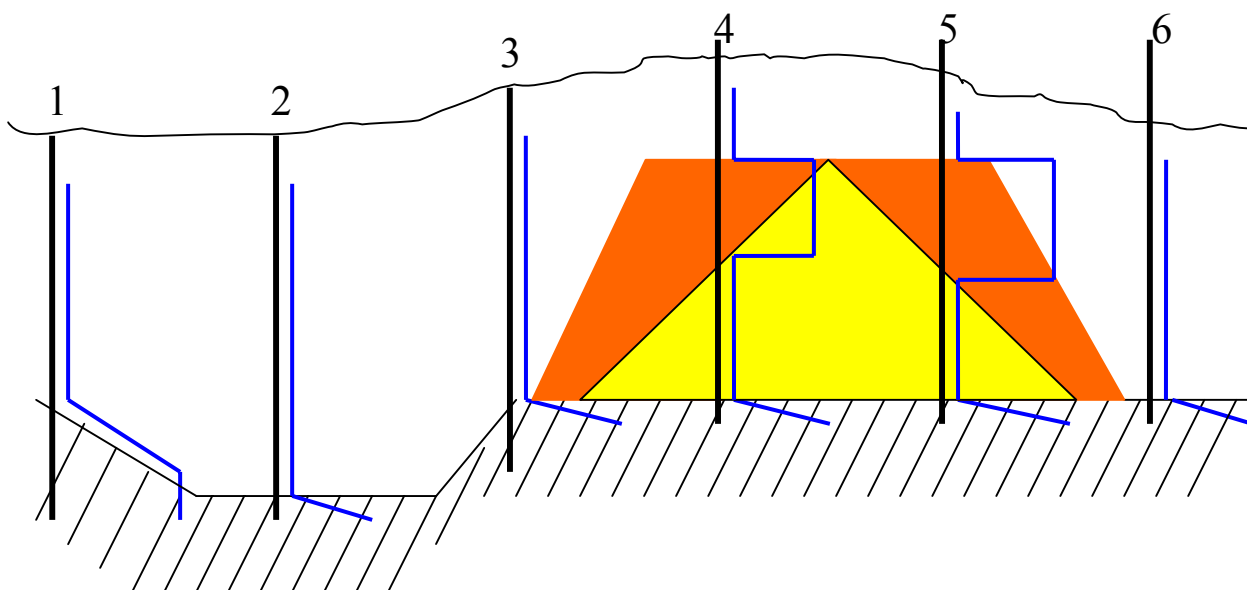


Рис.2

Дешифровка графиков зондирования- ров и вал.
(Внутри вала песок, наружные откосы из прочного грунта).

При отсутствии точных данных о стратиграфии культурного слоя, то есть до разведочного шурфования и до раскопок памятника, состав и мощность слоёв могут в первом приближении оцениваться по изменению сопротивления слоёв друг относительно друга. Так, на *Рис.2* видно, что перегибы линий графика зондирования совпадают с границами слоёв. Резкое увеличение сопротивления проникновению наблюдается при вхождении зонда в глину (материк, отмеченный штриховкой), а резкое падение сопротивления происходит когда зонд входит в песок. Соответственно, выделить стратиграфические объекты можно будет прямо в поле, обрисовав вероятные границы слоёв. Для этого достаточно соединить изолиниями точки перегибов графика.

Расчётные параметры ударного зонда

На наш взгляд, применение используемого строителями оборудования для зондирования неприемлемо в условиях археологического раскопа. Судите сами: стандартная штанга зонда имеет диаметр 42 мм. Следовательно, она массивна, и требует применения молота с наименьшим весом 30 кг.[11]. То есть, энергозатраты этого способа весьма значительны и применение такого зонда требует специальной установки с двигателем. Кроме того, диаметр основания конуса на конце зонда составляет 74мм., следовательно, он произвёл бы весьма ощутимые разрушения культурного слоя и артефактов. Применяемый для исследования полевых аэродромов пенетромтр-ударник У-1 снабжён в нижней части цилиндрическим штоком длиной 03 м.; такой длины явно недостаточно для исследования культурного слоя.

Каковы расчётные параметры оптимального зонда? Для ответа на этот вопрос необходимо вкратце прояснить физический смысл процесса ударного зондирования.

Удар (или **соударение**) – это столкновение двух или более тел, при котором взаимодействие длится очень короткое время. В нашем случае мы говорим об осевом соударении двух твердых тел: молота и штанги. Силы, взаимодействующие между телами (*ударные* или *мгновенные силы*) столь велики, что внешними силами, действующими на них, можно пренебречь. Это позволяет систему тел в процессе их соударения приближенно рассматривать как замкнутую систему и применять к ней законы сохранения. Сущность удара заключается в том, что кинетическая энергия относительного движения соударяющихся тел на короткое время преобразуется в энергию упругой деформации. Во время удара имеет место перераспределение энергии между соударяющимися телами. Наблюдения показывают, что относительная скорость тел после удара не достигает своего прежнего значения. Это объясняется тем, что нет идеально упругих тел и идеально гладких поверхностей. Отношение нормальных составляющих относительной скорости тел после удара и до называется **коэффициентом восстановления** ε .

$$\varepsilon = \frac{v'_n}{v_n}, \quad (1)$$

где v_n – скорость тела до удара, а v'_n – скорость после удара.

Если для сталкивающихся тел $\varepsilon = 0$, то такие тела называются **абсолютно неупругими**, если $\varepsilon = 1$ – **абсолютно упругими**. На практике для всех тел $0 < \varepsilon < 1$, а в некоторых случаях тела можно с большой степенью точности рассматривать либо как абсолютно упругие, либо как абсолютно неупругие. Прямая, проходящая через точку соприкосновения тел и нормальная к поверхности их соприкосновения, называется линией удара. Удар называется центральным, если тела до удара движутся вдоль прямой, проходящей через их центр масс.

Таким образом, пренебрегая силами упругой деформации в рассматриваемой нами системе тел мы имеем дело с моделью неупругого центрального удара ($\varepsilon = 0$). Молот весом G_1 падает с высоты h на зонд весом G_2 и забивает его в грунт.

Обозначим массами G_1 и G_2 вес молота и вес штанги соответственно, скорости молота и штанги до удара – через v_1 и v_2 . Здесь $v_2 = 0$, так как ударяемое тело первоначально было неподвижным,

$$v_1 = \sqrt{2gH},$$

где $H = h + \frac{s}{2}$ – средняя высота падения молота за n ударов, м; s – расстояние на которое углубилась штанга в грунт за n ударов, м.

В процессе соударения молота и штанги между ними действуют силы, зависящие не от самих деформаций, а от их скоростей, то мы имеем дело с силами, подобными силам трения, поэтому происходит потеря кинетической

энергии. Эту потерю можно определить по разности кинетической энергии тел до удара T_0 и после удара T .

$$T_0 = \frac{m_1 v_1^2}{2} = G_1 H. \quad (2)$$

$$\Delta T = \frac{m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{G_1 G_2 H}{G_1 + G_2}. \quad (3)$$

По теореме кинетической энергии:

$$T = T_0 - \Delta T = G_1 H - \frac{G_1 G_2 H}{G_1 + G_2} = \frac{G_1^2 H}{G_1 + G_2} = R \frac{s}{n} \quad (4),$$

где T – удельная энергия зондирования, Дж; R – среднее сопротивление грунта, Дж/м.

Известно, что для прочных глинистых грунтов величина сопротивления погружению зонда с конусом 30° достигает $2,5 < R < 5$ кг/см², а для песков – от $0,3 < R < 1,5$ кг/см² [8, с.29]. По ГОСТу среднее динамическое сопротивление грунта при ударном зондировании надлежит вычислять по формуле (5).

Выразим среднее сопротивление грунта:

$$R = \frac{n G_1^2}{(G_1 + G_2) s} \left(h + \frac{s}{2} \right) = \frac{n G_1^2}{(G_1 + G_2)} H \quad (5)$$

$$T_0 > T,$$

$$m_1 g h + h m_2 g > m_1 g h + m_1 g \frac{s}{2},$$

$$h m_2 > m_1 \frac{s}{2}$$

Тогда для $R \leq 2,5$ кг/см², $s = 5$ см = $5 \cdot 10^{-2}$ м, а $n \geq 1$

$$T \leq R s / n$$

Получаем: $T \leq 2,5$ кг/см² · 5 см/1, или: $T \leq 12,5$ кг/см

Следовательно, для проникновения в прочный грунт зонд должен передавать на грунт энергию до двенадцати с половиной килограммов силы за один удар.

Для того чтобы зонд погружался в грунт, надо, чтобы энергия зондирования превышала величину сопротивления и преодолевала инертность самого зонда. Источником энергии является молот, который падает под действием силы тяжести и в момент удара передаёт кинетическую энергию зонду. Величина этой энергии для молота определяется по формуле

$$E_p = M_m g h$$

где M_m – масса молота, кг; g – ускорение свободного падения, равное $9,8$ м/с²; h_m – высота подъёма молота, м.

Тогда процесс зондирования можно описать неравенством:

$$T_0 > T$$

$$A + M_3 < M_m \cdot g \cdot h_m,$$

где M_3 – масса зонда, кг.

Представляется очевидным, что зондировочный прибор, удовлетворяющий требованиям портативности для использования археологами “в поле” должен иметь небольшие габариты и массу, например:

Диаметр штанги – 0,8 см;

Площадь поперечного сечения наконечника зонда (основание конуса) – 1 см²;

Длина погружаемой части (штанги зонда) – 1,5 м;

Масса зонда $\approx 1,2$ кг;

Высота подъёма молота $h_m = 0,5$ м.

Тогда массу молота можно определить по формуле:

$$M_m > (A + M_z) / g \cdot h_m$$
$$M_m > (12,5 + 1,2) / 9,8 \cdot 0,5 = 2,8 \text{ кг}$$

При массе цилиндрического молота в 2,8 кг, при плотности материала (сталь) $\approx 7,8$ г/см³ и диаметре 6 см высота цилиндра $\approx 12,8$ см.

Иными словами, такой зонд более чем с одного удара пробьёт песок любой прочности (или другой грунт), но даст отказы в прочной глине (то есть, в материковой глине ненарушенной структуры).

Устройство зонда

Ударный зонд (Рис.3) представляет из себя штангу из стального прутка диаметром 0,8 см., длиной 150...160 см. Штанга разъёмная; она состоит из двух отрезков- длинного 100 см. и короткого- 60 см, которые соединяются между собой резьбовой муфтой. Длинный отрезок имеет с одной стороны коническое заострение, а с другой стороны резьбу. Короткий отрезок штанги имеет резьбу на обоих концах. На короткий отрезок штанги надет молот, представляющий из себя стальной цилиндр 6х12 см, со сквозным вертикальным отверстием, диаметр которого несколько превышает диаметр штанги. На свободный конец этого отрезка накручена гайка, ограничивающая движение молота.

Длинная штанга имеет запилы (кольцевые проточки) через равные промежутки (например 5 см.). (В случае, если проектные параметры зонда соответствуют приведённому примеру, а площадь поперечного сечения штанги менее 1 см², то для упрощения расчётов сопротивления грунта возможно на свободный конец длинного отрезка штанги можно накручивать наконечник в форме конуса с углом при вершине 30°, с площадью поперечного сечения 1 см². (Рис.4). Также наконечник, диаметр которого превышает диаметр штанги, может быть рекомендован при большой длине штанги, когда эта штанга “затирается в скважине”. В этом случае наконечник оставляет за собой отверстие несколько большего диаметра, чем диаметр погружаемой штанги. Соответственно, для изготовления зондировочного прибора с длинной штангой и наконечником потребуются другие расчёты.)

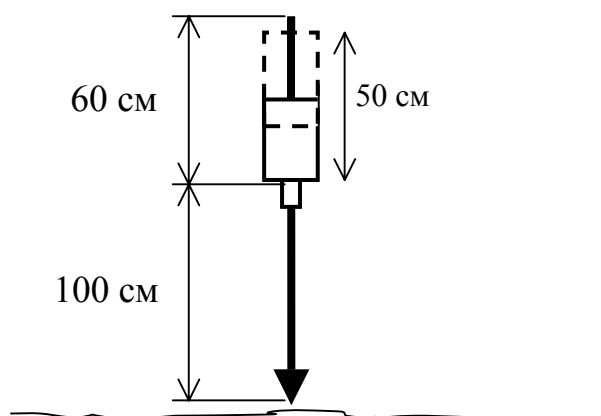


Рис.3
Ударный зонд

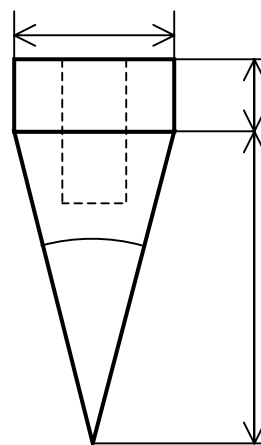


Рис.4
Конический наконечник

В ходе применения устройства расположение точки зондирования (скважины) отмечают на плане раскопа (месте дислокации предполагаемого археологического памятника). Зонд ставят на грунт вертикально остриём вниз, удерживая его в этом положении за муфту. Поднимают молот на высоту 50 см. (до ограничительной гайки) и отпускают, позволяя ему свободно падать. Падая, молот наносит удар по соединительной муфте (эта деталь играет роль выступа штанги). Таким образом, молот передаёт свою энергию штанге. При этом визуально оценивают величину заглубления зонда, и повторяют удары, считая их до тех пор, пока зонд не углубится в грунт (относительно поверхности грунта или относительно иного маркера) на 5 см., то есть до кольцевой проточки. Фиксируют полученный результат в протоколе зондирования. Затем цикл повторяют, отмечая количество произведённых ударов, которое потребовалось для заглубления зонда до следующей проточки. Зондирование в каждой скважине производят до резкого увеличения сопротивления проникновению, когда зонд перестаёт погружаться на 5 см. после 5-6 ударов по нему (до отказа). Извлекают устройство и переставляют его на следующую точку зондирования.

Вычисления по результатам зондирования

Справочные пособия [19, с.179] предлагают вычислять среднее сопротивление грунта R по формуле, может быть записана в виде:

$$R = \frac{n \cdot M_m^2}{(M_m + M_\varphi) \cdot s} \cdot \left(h + \frac{s}{2}\right)$$

Где:

s -глубина погружения зонда за один удар (залог), см.

h -высота подъёма молота, см.

Или, по теореме кинетической энергии для зонда:

$$E=R \frac{s}{n}$$

Откуда:

$$R=\frac{E \cdot n}{s} \quad \text{или} \quad n=\frac{R \cdot s}{E}$$

Подставив в эту формулу параметры нашего зонда, получаем, что, если $R=5$; $s=5$, а $E=12,5$, то $n=2$. Иными словами, если пренебречь собственной массой зонда и силами упругости, то теоретически, в прочный глинистый грунт с показателем сопротивляемости $R=5$ зонд заглубится на 5 см. после двух ударов, а менее прочный грунт он пробьёт на величину одной риски за один удар. Разумеется, реальные показатели могут отличаться от расчётных, и устройство должно быть проградуировано опытным зондированием на каждом раскопе, как было указано выше.

Разными исследователями могут быть использованы зонды иного диаметра. Для того чтобы получать сравнимые результаты, в идеальном случае следует использовать наконечник зонда с поперечным сечением 1 см^2 . При его отсутствии можно пересчитать результат с использованием поправочного коэффициента K (Табл.1). Так, например, если при зондировании был использован щуп диаметром 0,7 см. (площадью сечения $0,38 \text{ см}^2$), то полученный результат R следует умножить на 2,63 и т.п.

Табл.1 Переводной коэффициент K для приведения вычисленного сопротивления зонда R к нормальному сечению в 1 см^2

Ø Зонда, см.	$S=\pi r^2$ см ²	K
0,5	0,19	5,26
0,7	0,38	2,63
0,8	0,5	2
1	0,79	1,27
1,13	1	1

По результатам работ составляют график зондирования, который позволяет оценивать пространственную изменчивость состава и свойств грунтов на обследуемой площади.

Таким образом, предлагаемый метод и устройство для динамического зондирования могут отвечать потребностям археологии и их применение позволит получать не только дополнительную, но и качественно новую информацию о параметрах сооружений древности.

Библиография

1. *Thomas D.H.* Archaeology.-Harcourt College Publishers, 1998.-730 p.
Bahn P.G. Archeologie.-Paris, 2002.-432 p.
2. *Мартынов А.И.* Археология: Учебник.-М., 2002.-439 с.
3. *Мартынов А.И., Шер Я.А.* Методы археологического исследования.-М.,2002.-240с.
4. *Коробейников А.В.* Об оценке уровня защиты древних городищ.//Режим доступа: [<http://v3.udsu.ru/item-ipspub/meth-v/obj-08499.htm>].
5. *Коробейников А.В.* Ментальная основа деятельности фортификатора-создателя городища Иднакар.//Режим доступа: [mhtml:http://sib-subethnos.narod.ru/p2005/korobeinikov.mht]
6. *Коробейников А.В.* Городище Кучино I : эволюция фортификации.// Вопросы истории и культуры Пермского Прикамья: “Строгановские чтения”.-Материалы Всероссийской научно-практической конференции.-Березники, 2004.-С.53-59
- 7.Справочник строителя.-Киев, 1979.-536 с. СНИП
8. *Ельцов Ю.А., Ельцов А.Ю.* Грунтоэкология Удмуртии.-Ижевск, 2003.-86с.
9. *Журбин И.В.* Геофизика в археологии: методы, технологии и результаты применения.-Ижевск, 2004.-152 с.
10. *Авдусин Д.А.* Полевая археология СССР М.: "Высшая школа",1980.-316 с.
11. ГОСТ 19912-81. Грунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием.
- 12.РА ИИМК, ф.14, д.6, л.21-21 об. Цит. По: *Тункина И.В.* Русская наука о классических древностях юга России (XVIII- середина XIX в.)-СПб,: Наука,2002.- С.307.
13. *Тункина И.В.* Русская наука о классических древностях юга России (XVIII- середина XIX в.)-СПб,: Наука,2002.-676 с.-156 ил.
14. *Ельцов Ю.А.* Методы определения механических свойств грунтов малогабаритными устройствами. Дисс. На соискание учёной степени кандидата технических наук. -Ижевск, 1975.-199с.
- 15.*Ельцов Ю.А.* Исследование грунтов на стройке и в лаборатории.-Ижевск, 1979.-62.с.
- 16.*Ельцов Ю.А.* Воздействие наконечников на грунт и определение его механических свойств. Дисс. На соискание учёной степени доктора технических наук. -Ижевск, 1987.-280 с.
- 17.*Ельцов Ю.А.* Исследование грунтов наконечниками (экспериментально-теоретические положения). -Ижевск,1991.-112с.
18. Черкасов И.И., Шварев В.В. Начала грунтоведения луны.-М.,:Наука, 1971.-200с.
19. Справочник металлиста.-М., 1957, Т.1.,-604с.

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЛИЩА ЗАПОСЕЛЬЕ

Селище Запоселье I расположено приблизительно на равном удалении от городов Березники и Соликамск Пермского края на восточном берегу протоки р.Камы, называемой Чашкинское озеро. Оно лежит на юго-западном склоне пологого холма высота которого от уреза воды составляет около 7 м. К югу от селища протекает небольшая речка, впадающая в Каму. Общая площадь памятника составляет около 60 тыс. м². Основная часть площади памятника на протяжении длительного времени распахивалась. Около четверти памятника уничтожено при строительстве железной дороги.

Селище было открыто в 1978 г. при обследовании берегов Чашкинского озера отрядом КАЭ ПГУ под руководством А.Ф.Мельничука. По мнению Ю.А.Полякова, селище Запоселье I являлось жилой частью производственного поселка IX-XII вв., каким является Чашкинское II селище [5]. В 1983 г. на селище силами археологической экспедиции под руководством А.М.Белавина производились раскопки, целью которых было установить связь Запосельского поселения с Чашкинским II селищем.

Названный археологический памятник изучался в июле 2004 года Запосельским отрядом Камской археолого-этнографической экспедиции Пермского государственного педагогического университета (КАЭЭ ПГПУ) под руководством с.н.с. Пермского отделения Института истории и археологии Уральского отделения РАН Крыласовой Н.Б. Работы осуществлялись на основании Открытого листа по форме № 1 за № 466, выданного ОП ИА РАН 11 июня 2004 года и Разрешения № 207

Раскопочные работы велись по методике, принятой в КАЭЭ для исследования средневековых поселений, с соблюдением новейших требований методики полевых исследований ОПИ ИА РАН.

Вскрытие культурного слоя осуществлялось методом сплошной зачистки. Выявленные планиграфические особенности слоев и детали заносились на план раскопа. Планы и профили раскопов были составлены в масштабе 1:20. Планы и разрезы ям фиксировались в масштабе 1:10. Раскопки памятника, проводившиеся в 2004 г., показали, что он представляет значительный интерес для дальнейших исследований. Особенно перспективным в этом отношении является раскоп VI, на котором выявлено наибольшее количество интересных планиграфических объектов, часть из которых из-за окончания сроков археологической практики не удалось вскрыть полностью. В связи с этим, а также имея в виду разработку проекта расширения железной дороги и возможного разрушения памятника, его раскопки были продолжены в полевом сезоне 2005г [2].

При раскопках сезона 2005 года применялось динамическое зондирование культурного слоя памятника по предложенной методике [3]. Применение динамического зондирования было обусловлено, во-первых, необходимостью выделения наиболее перспективных участков, на которых имеются планиграфические объекты без трудоёмкого снятия пахотного слоя для дальнейше-

го увеличения площади раскопа (прирезки), а во-вторых потребностью практической проверки метода для внедрения его в практику полевых исследований (Рис.1). Точки зондирования (скважины) отмечались на плане раскопа (Рис.2), результаты каждого зондирования заносились в протокол (Рис.3), и по этим результатам строились графики сопротивляемости культурного слоя в зависимости от глубины погружения зонда.²



Рис.1

Способ применения ударного зонда

Допустимость применения метода с точки зрения сохранности археологического материала на данном памятнике была обоснована малой насыщенностью культурного слоя артефактами. Таким образом, возможность разрушения датирующих предметов зондом не рассматривалась в качестве вероятной.

² Данная работа была бы невозможна без деятельной помощи наших коллег: О.О.Малых, В.В.Мингалёва, Ю.А.Подосёновой, А.Н.Сарапулова, Д.В.Шмуратко. Приносим им нашу искреннюю благодарность. Основную часть протоколов зондирования нарисовала Е.В.Шайдурова (Лосёнок). Ей особое спасибо.

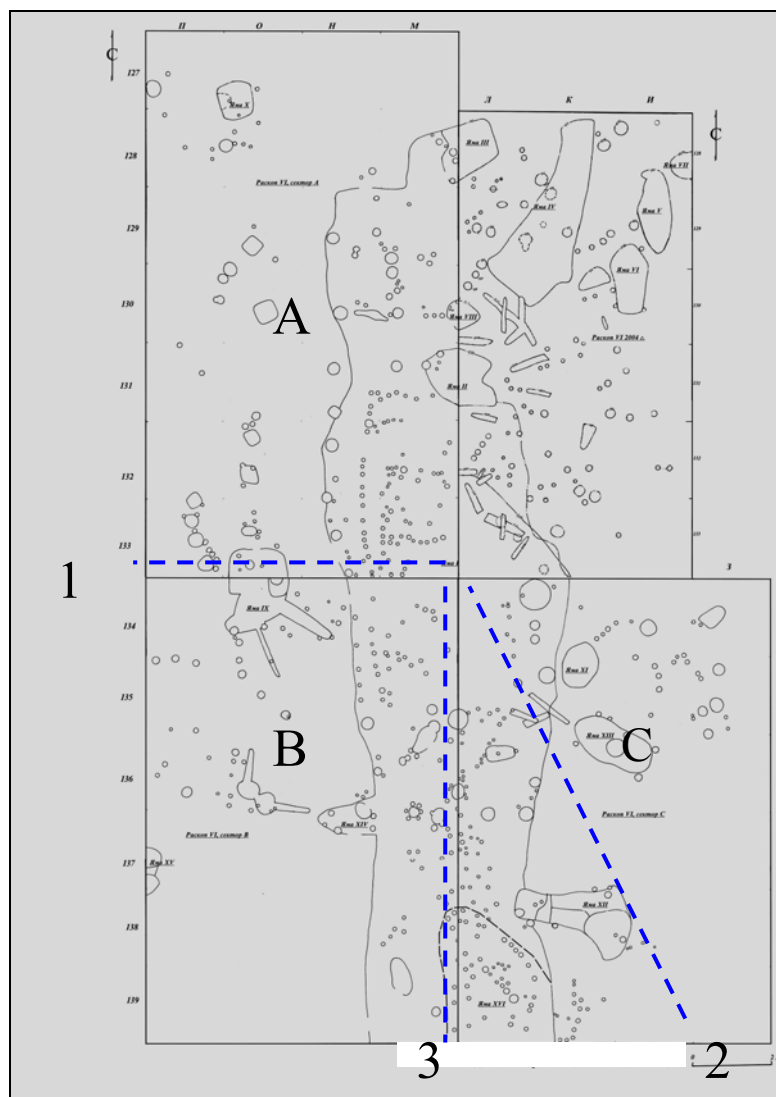


Рис.2

Сводный план раскопа 2005г.

Некоторые линии зондирования показаны пунктиром

Линия 1

Зондирование началось после снятия дёрна в секторе А на уроне условного горизонта по линии №1 на удалении 20 см. от края бровки с интервалом между скважинами в 50 см. (См. Рис.5). Планиграфические объекты на поверхности после снятия дёрна и горизонтальной зачистки визуально не фиксировались. Выбор области исследования был обусловлен тем, что в сезоне 2004г. в квадрате Л-133 была обнаружена яма, уходившая за бровку раскопа. Тогда же данная яма предположительно была атрибутирована в качестве жилищной. Однако конфигурация ямы была неизвестна. Стратиграфия слоёв грунта вблизи точки первого зондирования была известна по результатам работ прошлого года. Поэтому для первичной дешифровки последующих графиков была использована отмеченная зависимость между видом грунта и ко-

личеством ударов молота, необходимых для заглубления на 5 см. (См. *Табл.1, Рис.6*).

Таблица 1. Сопротивляемость слоёв грунта

Грунт №	Его описание	Кол-во ударов
8	Светло-серая супесь с вкраплением угля	3-4
10	Плотная серая пестроцветная супесь	1-2
13	Тёмно-серая гумусированная супесь	~6
14	Тёмно-коричневая гумусированная супесь с керамической крошкой и мелкой галькой	3-5
18	Материк	Отказ после 5-6

В результате зондирования было установлено, что в скважинах 1-3 отказ зонда (отсутствие продвижения после 6 ударов при попадании в материк) наблюдается на глубине 85-90 см., в скважинах 5-6 отказ наблюдался на глубине 70-80 см, (См. протокол зондирования *Рис.3*) а в скважинах 7, 8, 9 и 10 на глубине 70, 60, 50 и 50 см. соответственно.

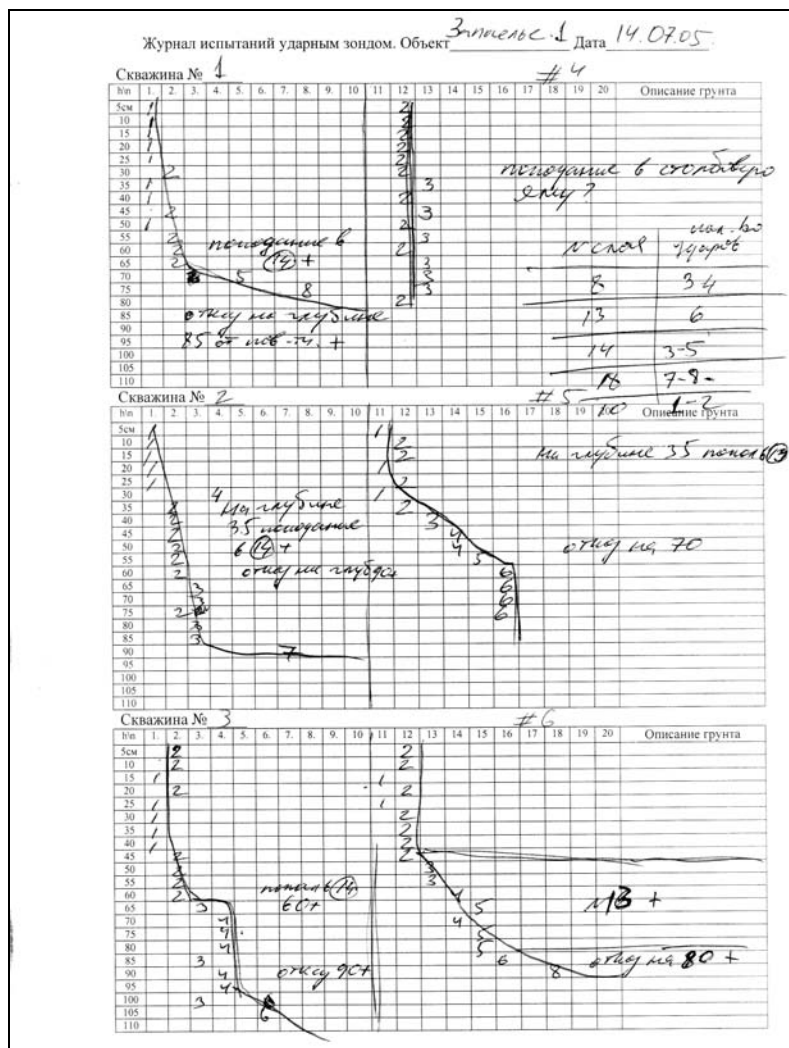


Рис.3

Образец полевого протокола зондирования (Скважины 1-6)

В скважины 11 и 12 зонд погружался на максимальную глубину после двух ударов. Скважины 13-15 показали резкое нарастание сопротивляемости проникновению на глубине менее 50 см. Отмеченные закономерности позволили очертить на полевом плане границы обнаруженной ранее жилищной ямы приблизительно по середине квадрата Н-133 и отметить вновь обнаруженную яму в квадрате О-133 (См. фрагмент полевого плана на *Рис.4*, где эти ямы отмечены пунктиром и знаками вопроса). Очерчивание границ ранее обнаруженной ямы и обнаружение новых аномалий материкового слоя позволило сделать вывод о том, что место прирезки раскопа сделано верно, то есть в направлении распространения исследуемого памятника.

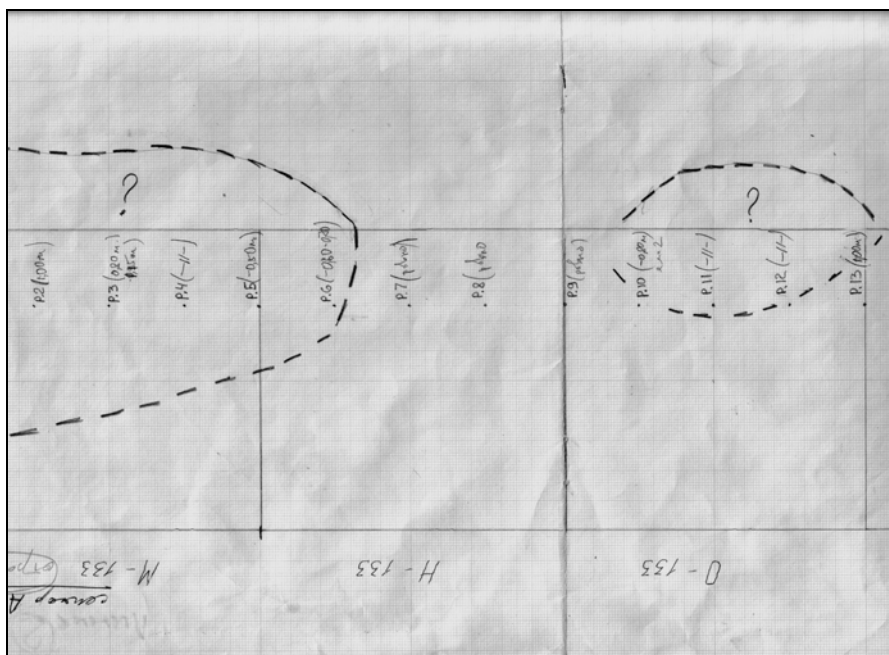


Рис.4

Фрагмент полевого плана зондирования: Сектор А, линия 1
(Повёрнуто на 180° по отношению к общему плану раскопа)

В ходе дальнейших раскопок по линии зондирования в секторе А после горизонтальной зачистки были выявлены планиграфические объекты: жилищная яма с границей по середине квадрата Н-133 и яма IX, расположенная в квадрате О-133,134 (См. *Рис. 2*, *Рис. 5*, вверху), что подтвердило данные зондирования. Внутри последнего объекта были обнаружены столбовые ямы, фиксируемые на уровне материка. Расположение этих столбовых ям близко соответствует локализации точек зондирования, и заглубление зонда с малым сопротивлением в скважинах 4, 11 и 12 может быть объяснимо попаданием в столбовые ямы, заполненные грунтом с малой сопротивляемостью. После вертикальной зачистки горизонта было установлено, что скважины зондирования вследствие своего малого диаметра следов на горизонтальном разрезе раскопа не оставляют.