

УДК 902.6+902.7

ББК63.4

К68

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КУЛЬТУРНОГО СЛОЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ

Коробейников А.В.

Удмуртский Государственный Университет, Ижевск

Автор описывает устройство и метод, которые позволяют определять структуру культурного слоя археологических памятников без раскопок и реконструировать внешний вид оборонительных сооружений. В основу метода положен принцип фиксации разницы сопротивляемости слоёв грунта. Достоинством предлагаемого метода и устройства является его дешевизна в сравнении с применяемыми геофизическими методами. Предлагаемое устройство портативно, переносится одним человеком и не требует электроэнергии. Метод и устройство испытаны на практике, и по ним получен Акт внедрения и положительные заключения практических археологов.

Историк, поставивший перед собой задачу реконструировать доисторическое сооружение, оставившее следы на грунте может делать обоснованные предположения об устройстве и габаритах этого сооружения 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, обрисовав доступный ему объём источников.

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: песок, супесь, глина,

пестроцвет и т.п.) 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 идентифицируют грунты (по цвету?) и изображают их на вертикальных и горизонтальных разрезах раскопа для визуальной оценки состава грунтовой толщи. 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 - археолог изображает слои грунта в соответствии с цветовой (или иной, зачастую произвольной, или, во всяком случае, не универсальной) номенклатурой, и такой разрез не несёт информации о строительных (или, в широком смысле физических) свойствах использованного древним строителем материала. 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?

Понятно, что если историк поставил перед собой задачу восстановить первоначальный облик оборонительных сооружений, первое, что он должен сделать, так это восстановить вал, ибо он служил основанием для построек (навалных сооружений). С другой стороны, реконструированные параметры вала несут информацию об оружии, которое преимущественно применяли его защитники и позволяют оценивать оборонительные качества фортификации [4]. Вследствие разрушения вала его первоначальная высота 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 полагаем принять угол естественного откоса для грунта насыпи, если рассматривать её в качестве многослойного штабеля. Как его определить? Проще всего это сделать опытным путём на натуре, когда археологи разрезают вал раскопом. Грунт каждого из слоёв (разумеется, не весь, но отдельно песок, отдельно пестроцвет и т.д.) можно свалить в небольшой штабель конической или призматической формы. Угол откоса 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.

Из практики строительства известно, что “при напластовании различных видов грунтов крутизну откоса для всех пластов надлежит назначать по наиболее слабому виду грунта” [5, с.163]. Следовательно, если для песка получено значение 30° , а для пестроцвета 40° , то откос всей насыпи в то время, когда она стояла, был близок к 30° . Такой вывод может быть перепроверен через исследование грунта, обнажённого вертикальным разрезом. В соответствии с разработанными у строителей методиками, в грунт каждого слоя следует вдавить конический наконечник, к которому присоединён динамометр. Установлено [6, с.49] что между сопротивлением проникновению конуса в грунт и углом естественного откоса этого грунта существует почти линейная зависимость; чем больше грунт сопротивляется проникновению, тем круче угол его

откоса. Причём, показатели сопротивления песка и глины, например, отличаются в разы, и перепутать эти грунты по данному параметру невозможно.

А можно ли получить данные о строительных свойствах грунтов древних сооружений без масштабных раскопок?

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

Существует целая гамма геофизических методов [7]. Они дают информацию о физических свойствах слоёв грунта (электропроводности, плотности и т.д.) и позволяют обнаруживать крупноразмерные артефакты, не имеющие следов на поверхности. Однако, все геофизические способы требуют применения дорогостоящей аппаратуры, исследования в поле привязаны к источникам электроэнергии, требуют значительных финансовых вложений и трудозатрат, что ограничивает сферу и частоту их применения. Кроме того, и эти способы не нацелены на получения данных о строительных свойствах грунтов.

Более простой способ исследования земли с помощью щупа позволяет в некоторых случаях выявить неоднородность грунтовой толщи и сделать предположения об антропогенном характере такой неоднородности. Таким способом определяют приблизительное расположение жилищных, хозяйственных и иных ям, следы которых не видны на современной дневной поверхности [8, с.86, 99, 117]. Однако, этот способ имеет существенный недостаток – оценивая качества грунта исследователь руководствуется собственными ощущениями оперируя критерием “твёрже-мягче”. Градации признака тут хотя и возможны, но они субъективны, поэтому невозможна и фиксация 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 качественный параметр, а на плане раскопа следует указать на какой глубине и на сколько твёрже). Кроме того, глубина зондирования здесь ограничивается физической силой конкретного индивида, и в соответствии с принятой методикой [8] прощупывание не решает задачу исследования физических свойств грунтовых строительных материалов. Тем не менее, прощупывание грунта, вследствие его простоты и дешевизны можно принять в качестве прототипа метода, описанного ниже.

Отмеченные недостатки существующих методов ставят на повестку дня вопрос о разработ-

ке простой и эффективной методики получения и интерпретации цифровых данных о строительных свойствах грунтов.

Разумеется, строительные и иные (прочностные, деформационные и пр.) свойства грунтов изучаются строителями [9]. Однако, строители решают свои задачи. К примеру, для выделения инженерно-геологических элементов, исследования несущей способности сваи или основания под фундаментом они изучают слои грунта на глубину до двадцати метров, куда археолог, как правило, не попадает, и объектов своего интереса там не имеет. 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 в 5...10 см. может многое сказать, то современный строитель, изучая стройплощадку такой слой или линзу просто не заметит, а заметив, не станет изучать их свойства, ибо на общий расчёт прочности грунтового основания влияние свойств этого элемента ничтожно.

Кроме того, существующие способы исследования свойств грунтов в лабораториях строительных организаций [10] 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 просеяных грунтов, укладываемый грунт уплотнялся (трамбованием? проливался водой?) поэтому историк, следуя принципу достоверности должен искать иные методы. Кроме того, строи-

тель 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 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.

Тем не менее, чтобы не изобретать велосипеда, полагаем оправданным обратиться к использованию давно апробированных строителями принципов полевых испытаний, приняв в качестве ближайшего аналога предлагаемому методу и устройству метод и устройство для динамического зондирования по ГОСТ 19912-81 [9].

Описание метода.

Отмеченная зависимость между сопротивляемостью проникновению и углом откоса и составом грунта позволяет исследовать насыпи (валы) простейшим неразрушающим методом. Для того, чтобы установить эту зависимость для грунтов конкретного археологического памятника, например, для насыпи вала, эта насыпь, разрезанная раскопом, и изображённая в произвольной номенклатуре грунтов, зондируется штангой (с коническим наконечником). По штанге наносят стандартные удары молотом, сбрасывая его каждый раз с постоянной высоты. При этом фиксируют количество ударов, необходимых для заглубления зонда на величину 5 см. Результаты заносят в таблицу, на основании которой строят график зависимости сопротивляемости 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 сопротивляемости каждого из слоёв насыпи. Там где вала нет (например, при раскопках поселения или могильника) прибор может быть градуирован после того, как стратиграфия археологического памятника будет выявлена с помощью шурфа.

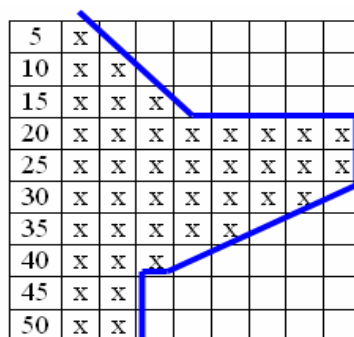


Рисунок 1. Таблица и график зондирования. Символ “x” означает один удар, а цифры- глубину погружения зонда.

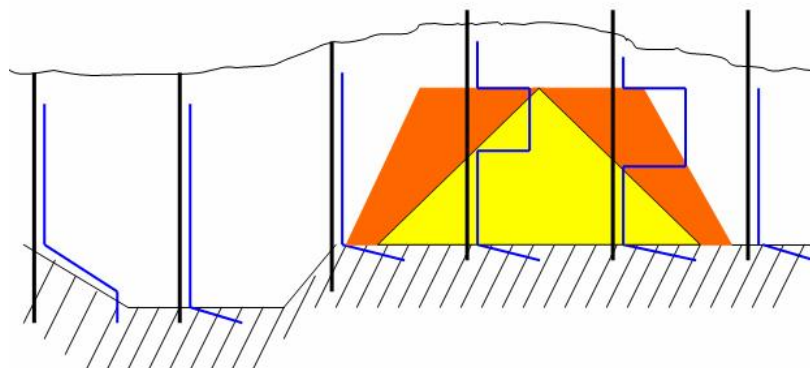


Рисунок 2. Дешифровка графиков зондирования - ров и вал.
(Внутри вала песок, наружные откосы из прочного грунта).

Приведённый пример позволяет дешифровать график зондирования приблизительно так:

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

На рис.2 видно, что перегибы линий графика зондирования совпадают с границами слоёв. Резкое увеличение сопротивления проникновению наблюдается при вхождении зонда в глину, а резкое падение сопротивления происходит когда зонд входит в песок.

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

Какой технический результат можно ожидать от применения предлагаемого метода?

1. Имеющийся разрез вала и полученный график зондирования дают возможность для аналоговой оценочной стратиграфии и в окрестностях исследованного вала, например, для уточнения его конфигурации и выявления валов, рвов, и западений материкового слоя (жилищных и хозяйственных ям) не видных на современной дневной поверхности. Конечно, любая выявленная аномалия поверхности материка или линза в составе насыпи могут быть обрисована более точно при уменьшении интервала между точками исследования.

2. Цепочка зондирований и дешифровка множества их графиков может давать информацию о стратиграфии и приблизительной консистенции грунтовой толщи, например, в теле вала.

3. Если известны углы откоса и сопротивление проникновению для слоёв, вскрытых раскопом, и сопротивление для слоёв пока не раско-

панных сооружений, то можно обоснованно оценивать и углы откосов последних.

4. Получаемые при этом способе зондирования значения сопротивляемости грунта имеют привязку в пространстве. Следовательно, их можно использовать для создания трёхмерных изображений объёмов, скрытых современной дневной поверхностью.

5. Кроме того, ставшие таким образом известными данные о составе грунта вала уменьшают погрешность вычисления трудоёмкости земляных работ, произведённых фортификатором; ведь этот показатель различен для разных грунтов.

Расчётные параметры ударного зонда.

На наш взгляд, применение существующего строительного 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.[9]. То есть, энергозатраты этого способа весьма значительны и применение такого зонда требует специальной установки с двигателем. Кроме того, диаметр основания конуса на конце зонда 74мм., следовательно, он произведёт весьма ощутимые разрушения культурного слоя и артефактов.

Каковы расчётные параметры оптимального зонда?

Для прочных глинистых грунтов величина сопротивления погружению зонда с конусом 30° достигает $2,5-5 \text{ кг/см}^2$, а для песков- от $0,3$ до $1,5 \text{ кг/см}^2$ [6, с.29].

По ГОСТу условное динамическое сопротивление грунта при ударном зондировании надлежит вычислять по формуле [9]. Коэффициент для учёта потерь энергии на трение штанги о песчаный и глинистый грунт для глубины до полутора метров равен единице [9]. При неизменной длине штанг коэффициент потерь энергии на

упругую деформацию и трение молота является постоянным. Следовательно, для простоты расчётов величинами потерь энергии здесь можно пренебречь и после исключения коэффициентов потерь можно записать формулу в виде:

$$R=A \cdot n/s$$

где: R-сопротивление грунта, кг/см²

A-удельная энергия зондирования, кг/см

n-количество ударов молота в залеге (в цикле зондирования)

s-глубина погружения зонда за залог, см

Тогда для $R \leq 2,5 \text{ кг/см}^2$, $s=5 \text{ см.}$, а $n \geq 1$

$$A \leq R \cdot s/n$$

Получаем:

$$A \leq 2,5 \text{ кг/см}^2 \cdot 5 \text{ см}/1,$$

или:

$$A \leq 12,5 \text{ кг/см}$$

Следовательно, для проникновения в прочный грунт устройство должно 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

$$E = M_m \cdot g \cdot h_m$$

где: M_m -масса молота, кг.

g-ускорение свободного падения= $9,8 \text{ м/сек}^2$

h_m -высота подъёма молота, м.

Тогда процесс зондирования можно описать неравенством:

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

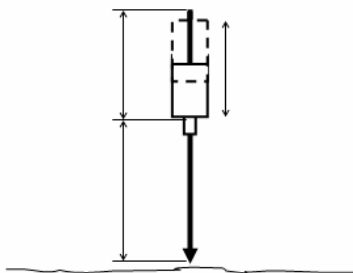


Рисунок 3. Ударный зонд

Длинная штанга имеет кольцевые проточки через 5 см. В случае, если площадь поперечного сечения штанги менее 1 см., 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 см. (Рис.4).

где: M_3 -масса зонда, кг.

Представляется очевидным, что зондировочный прибор, удовлетворяющий требованиям портативности должен иметь небольшие габариты и массу, например:

Диаметр штанги-0,8 см

Площадь поперечного сечения наконечника зонда (основание конуса)-1 см.

Длина погружаемой части (штанги зонда)-1,5 м.

Масса зонда≈1,2 кг

Высота подъёма молота $h_m = 0,5 \text{ м.}$

Тогда массу молота можно определить по формуле:

$$M_m > (A + M_3) / g \cdot h_m$$

$$M_m > (12,5 + 1,2) / 9,8 \cdot 0,5 = 2,8$$

При массе цилиндрического молота= $2,8 \text{ кг}$, при плотности материала (сталь)≈ $7,8 \text{ г/см}^3$ и диаметре 6 см высота цилиндра ≈ $12,8 \text{ см}$.

Иными словами, такой зонд 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 200...210 см. Штанга разъёмная; она состоит из двух отрезков- 150 и 50...60 см, которые соединяются между собой резьбовой муфтой. 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 короткого отрезка накручена гайка, ограничивающая движение молота.

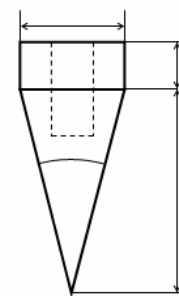


Рисунок 4. Конический наконечник

Для зондирования отмечают на плане раскопа (местности) расположение точек зондирования. Описанное устройство ставят на грунт вертикально остриём вниз, удерживая его в этом положении за муфту. Поднимают молот на высоту 50 см., и отпускают, позволяя ему свободно падать. Падая, молот наносит удар по соединительной муфте, передавая свою энергию штанге. Визуально оценивают величину заглубления

зонда, и повторяют удары, считая их до тех пор, пока зонд не углубится в грунт на 5 см., то есть до кольцевой проточки. Записывают полученный результат. Затем цикл повторяют, фиксируя количество произведённых ударов, для заглубления зонда до следующей проточки. Зондирование производят до резкого увеличения сопротивления проникновению (до отказа). Извлекают устройство и переставляют его на следующую точку зондирования.

По результатам зондирования составляют график, который позволяет оценивать пространственную изменчивость состава и свойств грунтов на обследуемой площади и составлять трёхмерную модель культурного слоя.

Таким образом, предлагаемый метод и устройство для динамического зондирования отвечают потребностям археологии и их применение позволит получить качественно новую информацию о параметрах сооружений древности. Данный метод и устройство были осуществлены на практике и использованы в ходе полевых исследований, проводимых археологической экспедицией Пермского Педуниверситета в полевом сезоне 2005г. Применение описанного устройства позволило четко обозначить границы расположения жилищных ям древнего поселения, а при раскопках могильника обнаружить захоронения, которые были перекрыты материковым слоем и в обычных условиях не могли быть обнаружены.

В настоящее время устройство и метод находятся в стадии патентования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thomas D.H. Archaeology.-Narcourt College Publishers, 1998.-730 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., 1980.-316 с.
11. ГОСТ 19912-81. Грунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием.
12. Ельцов Ю.А. Методы определения механических свойств грунтов малогабаритными устройствами. Дисс. На соискание учёной степени кандидата технических наук. - Ижевск, 1975.-199с.
13. Ельцов Ю.А.Исследование грунтов на стройке и в лаборатории. - Ижевск, 1979.-62с.
14. Ельцов Ю.А.Воздействие наконечников на грунт и определение его механических свойств. Дисс. На соискание учёной степени доктора технических наук. - Ижевск, 1987.-280 с.
15. Ельцов Ю.А.Исследование грунтов наконечниками (экспериментально-теоретические положения). -Ижевск,1991.-112с.

METHOD AND DEVICE OF DYNAMIC SOUNDING IN COURSE OF ARCHAEOLOGICAL RESEARCHES

Korobeinikov A.V.

Correlation between the resistance of ground to rod's penetration (i.e. ground's density) and its composition allows to probe the cultural layer by applying to a simple non-destructive method. The essence of this method is as follows: A prospecting shaft within the area selected for excavations should be dug. The shaft shall exhibit cross-section of local ground (sequence of layers composing the area of our study) till so-called "sterile" layer of the native soil (i.e. that one which was never penetrated by constructors). After that we commence introducing the rod into ground pretty closely to the shaft's edge. This job should be done by special appliance possessing sliding hammer whose each strike is implemented with the same strength and from the same height. Quantity of strikes required to penetrate the rod for each 5 cm. interval should be counted and registered in record-table. This information allows to draw a diagram showing resistance of ground to rod's penetration in different intervals of the cross-section (Figure 1). Should the mentioned diagram possess a proper scale, the researcher is able to monitor alteration of ground's density throughout the cross-section and also simultaneously consider composition of each interval of the prospecting shaft.