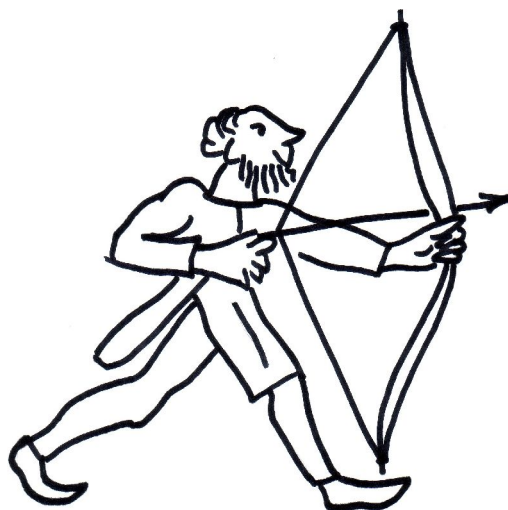


**А.В. Коробейников
Н.В. Митюков**

БАЛЛИСТИКА СТРЕЛ

по данным археологии



Ижевск 2007

Негосударственное образовательное учреждение
«Камский институт гуманитарных и инженерных технологий»

**А.В. Коробейников
Н.В. Митюков**

**БАЛЛИСТИКА СТРЕЛ
ПО ДАННЫМ АРХЕОЛОГИИ:
введение в проблемную область**

Ижевск 2007

УДК 902/904/623.561

К 68

ББК 63.400 + 63.48(2Рос.Удм)-425+К

Настоящее исследование выполнено в соответствии с тематикой “Историческая реконструкция параметров технических систем” (шифр “СТРЕЛА”, Государственный регистрационный № 01.2006–14646, код ВНИИЦ 024000230–0388).

Рецензенты:

А.В. КОРОТАЕВ, доктор философии, доктор исторических наук, профессор, директор Центра антропологии Востока Российского государственного гуманитарного университета, ведущий научный сотрудник Центра цивилизационных и региональных исследований и Института востоковедения РАН

А.Э. ПУШКАРЕВ, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики, теории механизмов и машин Ижевского государственного технического университета

Коробейников А.В., Митюков Н.В.

К 68 Баллистика стрел по данным археологии: введение в проблемную область. – Ижевск: Изд-во НОУ КИТ, 2007. – 140 с.

ISBN 978-5-902352-20-4

Книга очерчивает круг проблем в области исторической баллистики стрел, описывает алгоритмы исследовательских задач в этой области и знакомит читателя с некоторыми результатами, которые иллюстрируют возможности междисциплинарного подхода.

Ключевые слова: археология; методология археологии; реконструкция (ист); моделирование историческое; имитационное моделирование; памятники археологические; городища; краеведение; баллистика; военная история, моделирование боевых действий.

УДК 902/904/623.561

К 68

ББК 63.400 + 63.48(2Рос.Удм)-425+К

ISBN 978-5-902352-20-4

© А.В. Коробейников, Н.В. Митюков, 2007
© НОУ «Камский институт гуманитарных и инженерных технологий», 2007

Подвиги лучников...стали в Англии легендой после того, как это оружие уже вышло из употребления.

Молодежь имела смутное представление о луке и не могла спорить с рассказчиком.¹

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Зачем и как изучать действие снаряда по цели на основе археологических данных

Наверняка всякий современный историк понимает, что в условиях информационного взрыва сколько-нибудь продуктивная деятельность в области изучения прошлого становится просто немыслима без привлечения точных наук. Таким образом, для осуществления междисциплинарного исследования археолог или историк вооружений должны обладать хотя бы минимальным запасом знаний из сферы баллистики. Предлагаемая книга призвана, с одной стороны, очертить круг проблем в области исторической баллистики цели, а с другой стороны, познакомить читателя с некоторыми результатами, которые иллюстрируют возможности междисциплинарного подхода.

Баллистика цели изучает действие снаряда на цель. Таким образом, она наиболее приближена к познанию существенных признаков оружия, ведь поражение цели в той или иной форме является единственным побудительным мотивом стрелка. Именно ради этого он использует и лук, и стрелу. Решение познавательных вопросов в этой области является на сегодня актуальным в силу того, что именно здесь, с одной стороны, существует наибольшее количество эмоциональных и бездоказательных утверждений, а с другой стороны, баллистика цели сегодня интересует многих: производителей оружия и криминалистов, историков и ролевики-реконструкторов. Так, криминалисты занимаются проведением экспертиз, в ходе которых устанавливают способность снаряда наносить опасные для жизни и здоровья повреждения [Тихонов], историки пытаются моделировать деятельность исторического субъекта, а ролевики в поисках экстрима даже обстреливают добровольцев из своей среды, одетых в доспехи [Кинетическая энергия...].

Для историка методы баллистики могут быть полезны, прежде всего, при изучении периодов революционных изменений вооружения и тактики войска, ибо в конечном счете такие перемены, связанные с принципами организации войска, неотделимы от преобразований в социальном устройстве того или иного общества. Например, как известно, эпоха Великого переселе-

¹ [Пейн-Галлуэй, С. 36]

ния народов принесла в военное дело Европы крупные изменения в области тактики боя, в результате чего лук приобрел бóльшее значение, чем в античности, а ядром войска и его решающей силой стала конница [Бехайм, С. 279]. Но простая логика подсказывает, что самой уязвимой частью конного воина является его лошадь: во-первых, она намного крупнее человека, и вероятность попадания стрелы в нее, а не во всадника пропорциональна величине ее силуэта. Во-вторых, движущиеся части лошади просто невозможно защитить от поражения метательными снарядами (забронировать). Наконец, всадник без лошади, или на раненой лошади, уже не является полноценной боевой единицей в составе подразделения кавалерии.

Именно в области баллистики цели циркулирует множество легенд; стоит лишь упомянуть легенду о так называемых “срезнях” – наконечниках, передняя кромка которых имеет прогиб в средней части. Согласно распространенному мнению они являются “особым видов наконечников... и предназначены для подрезания сухожилий у коней или тетив на луках противника” [Шокарев, С. 29], а также “для подрезания сухожилий у животных, к примеру, при охоте на косулю делались ножевидные наконечники, с прямым или полулунным лезвием” [Тихонов, С. 120]. Разумеется, авторы таких постулатов не утруждают себя вопросом относительно того, **зачем** подрезать бедному животному сухожилия: если это боевая лошадь, то вероятность попадания в иные части ее тела гораздо выше, чем непременно в сухожилие (ног), а результат тот же – раненая лошадь перестанет слушаться седока. А если надо поразить лошадь непременно в ноги (в предположении, что все остальное прикрыто доспехом), то это можно сделать стрелами любого типа. И всякий охотник стремится не подранить животное, а надежно убить с первого выстрела. Ведь если животному предназначено умереть от стрелы, то зачем калечить его предварительно столь замысловатым способом? А каков же процент вероятности попадания срезнем в тетиву вражеского лука?! Еще исследователи-оружиеведы конца XIX в. отмечали, на основе эмпирических данных, полученных по арбалетным болтам, что стрелы с наконечниками вилкообразной формы неустойчивы в полете и имеют значительный разброс попаданий [Бехайм, С. 304]. Знакомство с основами баллистики позволяет привести научные основания тому, что всякая стрела, имеющая широкий плоский наконечник, относительно неустойчива в полете: малейшее конструктивное отклонение ее центра массы от продольной оси, либо отклонение ветром хвостовой части приведут к тому, что плоский развитой наконечник станет двигаться в воздухе с некоторым углом атаки, то есть создаст подъемную силу, действие которой приведет к сходу снаряда с расчетной траектории, либо к отклонению угла встречи с целью от нормали. Иными словами, попадание по малоразмерным целям таким наконечником маловероятно. Таким образом, для окончательной оценки разброса попаданий необходимо доказать, что центр массы срезня и центр давления (точка приложения аэродинамических сил к нему) совпадают с продольной

осью стрелы. Видимо, эту задачу нельзя решить, не имея в руках стрелы в сборе и без результатов серии аэродинамических испытаний.

1.2. Поражающие факторы стрелы

Тема предлагаемой работы касается снарядов, получивших наибольшее распространение, а именно, речь идет о стрелах, которые были выпущены из лука и предназначены для поражения живой силы. Исходя из общей логики применения метательных снарядов, можно выделить основные поражающие (повреждающие) факторы стрелы:

1. Психологическое (деморализующее) воздействие;
2. Опрокидывающее действие (свалить с коня, со стены);
3. Контузия (ушибы);
4. Непроницающие поражения наружных покровов и частей тела (кровотечения, осаднения);
5. Поражения внутренних органов и опорного аппарата (разрывы, внутренние кровоизлияния, раздробления, размозжения, инфекция);
6. Болевой шок.

Нетрудно заметить, что поражающие факторы существенно различаются по признаку проникновения снаряда вглубь цели; стрела причиняет либо поверхностное, либо проникающее ранение. Глубина проникновения в тело цели (способность преодолевать динамическое сопротивление среды) зависит от величины энергии и от формы снаряда. Поэтому логично полагать, что форма снаряда определяется его назначением, ведь снаряды одинаковой массы, выпущенные из одного лука, имеют одинаковую энергию у цели. Однако действие по цели у них различно. Необходимо констатировать, что натурное изучение боевой баллистики цели затрудняется неоднородностью человеческого тела, высокой стоимостью имитаторов и биологического материала и нерешенностью острых вопросов морального плана. Известно, однако, что исследования отдельных поражающих факторов стрелы проводились на трупном материале, что позволило криминалистам опубликовать некоторые выявленные закономерности. Разумеется, на живой организм отмеченные (и иные?) факторы воздействуют в комплексе, взаимно усиливая друг друга. Однако не вызывает сомнения то обстоятельство, что заостренные снаряды в целом легче преодолевают сопротивление среды и, соответственно, рассчитаны на проникающие ранения, а наконечники с притупленной кромкой наносят лишь поверхностные повреждения. Откуда следует, что стрелы с такими наконечниками могут составлять аналог современному нелетальному оружию, каковым являются, например, “резиновые” пули и т.п. Назначением такого оружия является временное выведение противника из строя. Останавливающее действие нелетальных снарядов основано на нанесении несмертельных (не опасных для жизни) телесных повреждений (осаднений, поверх-

ностных кровотечений и т.п.) и болевого воздействия за счет того, что они мгновенно передают поражаемым тканям бóльшую часть своей кинетической энергии. Иными словами, они действуют преимущественно на психику человека, лишая его возможности к осмысленным действиям и подавляют волю к сопротивлению. Значит, логично полагать, что применение нелетального оружия целесообразно прежде всего там, где агрессор планирует ресурсное использование пораженных стрелами: захват пленных и реализацию их в качестве рабов (или эксплуатацию оседлого населения) после несложного лечения поверхностных ран.

Как представляется, вопросы раневой баллистики не получили пока должного внимания со стороны отечественных историков. К примеру, Ю.С. Худяков, приводя свидетельство Плано Карпини о “монгольских” стрелах с наконечниками в три пальца ширины для стрельбы в безоружных людей, утверждает, что “прицельная стрельба по незащищенному панцирем противнику и лошадям привела к появлению разнообразного спектра плоских широколопастных наконечников, оставляющих кровоточащие раны, выводя неприятеля из строя” [Худяков, С. 124–125]. Нетрудно заметить, что средневековый источник пишет о безоружных людях (нонкомбатантах), а современный исследователь говорит о небронированных воинах. Но воин может быть защищен если не панцирем, то щитом, он прикрыт лошадью и, наконец, командир тактически выводит свое подразделение из-под обстрела, перемещая его на поле боя, а отдельные стрелы обученный воин умеет парировать. А безоружный гражданский от стрелы может только попытаться бежать. Следовательно, речь идет о разных целях, и вывод исследователя здесь не основан на свидетельстве письменного источника. Кроме того, переводчик средневекового автора по отношению к цели употребляет термин “безоружный”. Однако, по нашему мнению, основываясь на том, что исходное (?) *Agmatius* переводится не только как вооруженный, но и защищенный, боевой [Дворецкий, С. 76] здесь, видимо, вообще недостаточно данных для того, чтобы однозначно утверждать относительно характера цели; идет ли в средневековом источнике речь о гражданском населении либо о воинах без защитного снаряжения. Наконец, о “разнообразном спектре плоских широколопастных наконечников” можно говорить исключительно в морфологическом аспекте; с точки зрения действия по цели все эти наконечники однотипны, и форма не является их существенным признаком, ибо все они достигают технического результата (поражения цели) одинаковым способом – нанесением непроникающего ранения. Иными словами, можно предположить, что за формальным разнообразием здесь сокрыта стандартизация снарядов внутри войсковой организации. (Хотя до взвешивания серий наконечников и инструментального исследования их аэродинамических характеристик высказанная нами гипотеза повисает в воздухе.) Представляется вполне логичным, что для того, чтобы обеспечить приемлемую устойчивость траектории стрелы

лы с наконечником столь несовершенной аэродинамической формы, какой является срезень, и гарантированно попасть в подвижную цель, стрела должна была получать импульс движения гораздо более того, что нужен для наконечника с оптимальной аэродинамикой и балансом (шиловидного, пулевидного, ланцетовидного). Следовательно, применение широкого тупоконечного в плане наконечника (broadhead) есть явное свидетельство увеличения энергии лука либо уменьшения дистанции стрельбы.

На наш взгляд, широкое применение нелетальных наконечников могло быть обусловлено потребностями временного поражения там, где надо победить войско (нейтрализовать воинов), но нет нужды уничтожать податное население, и такая гипотеза соответствует историческим реалиям: по мнению исследователей, плоские наконечники с расширением на конце были принесены в Европу во время монголо-татарского нашествия [Медведев, С. 75–76]. М.В.Горелик, иллюстрируя материал о монгольских наконечниках стрел XIII–XIV вв., приводит около полусотни изображений наконечников из Монголии, Узбекистана, южной Украины и Прикубанья [Горелик]. И все наконечники, за исключением трех-четырех – это срезни, либо они имеют широкие лопасти. Трудно судить о репрезентативности представленной выборки, но в сознании современного читателя описываемый тип нелетального наконечника прочно ассоциируется с нашествием мобильного войска. Поэтому их применение, как представляется, может служить маркером статуса в военном конфликте: так, защитникам городища нет никакого интереса выводить из строя воинов атакующей стороны лишь на короткое время. Агрессор, напротив, рассматривает жителей городища (оккупированной территории) как желанную военную добычу, реализация которой (или эксплуатация) покрывает его затраты на организацию экспедиции. Следовательно, именно агрессор заинтересован в применении нелетального оружия.

Обнаружение разнотипных наконечников в материале городища порождает вопросы, в частности относительно так называемых бронебойных наконечников:

– Кто стрелял заостренными (в т.ч. шиловидными, бронебойными) наконечниками: агрессор или защитник? Очевидно, что защитник городища (крепости) защищен в первую очередь инженерными сооружениями (бруствером и т.п.), против которых стрелы бесполезны. А воин штурмовой колонны несет защиту (дорогостоящий панцирь) на себе. Значит, бронебойные наконечники применяют против войска агрессора? Если так, то энергия стрелы у цели и длина рабочей части такого наконечника должны быть достаточными, чтобы пробить панцирь и толщину подстилающей защитной одежды (дублета и т.п.).

– Может ли обнаружение длинных заостренных (шиловидных) наконечников однозначно свидетельствовать о том, что ими были обстреляны бронированные цели? Наверное нет, не может. Ведь отличие (или достоинство) та-

ких наконечников от иных состоит в том, что они не вызывают рикошета снаряда на любых углах встречи с небронированной целью. То есть ими вполне могли поражаться и небронированные цели. Просто вероятность поражения последних (путем пенетрации) с применением такого наконечника увеличивалась.

– Являются ли шиловидные наконечники безусловно летальным оружием? Видимо нет, не являются. Невероятно предположение о том, что древний лучник умел попадать срезом в малоразмерные движущиеся предметы (тетиву, сухожилия и т.п. – см. выше), однако вполне допустимо полагать, что он мог попасть шиловидным наконечником в крупные мышцы (бицепс, бедро, ягодицы) и вызвать останавливающее действие при минимальном разрыве тканей и с прямолинейной раневой траекторией. Из мышечной ткани (или из легких, костей и т.п.?) такой наконечник мог быть элементарно и сравнительно безболезненно извлекаем путем вытягивания за древко стрелы. Соответственно, такое ранение, не затрагивающее внутренние органы, могло быть целенаправленно нелетальным. Кроме того, такой наконечник, отдавший свою энергию на прибивание наружной преграды, вызывает и относительно меньшие повреждения в броневом пространстве (меньше травмирует внутренние органы) в силу своего меньшего сечения. Вообще, термин “броневой наконечник”, применяемый в типологии стрел, на наш взгляд, является очень условным при описании археологических памятников там, где сами брони (или свидетельства их применения) не обнаружены. Видимо, до моделирования работоспособной системы, включающей лучника, лук и стрелу с броневым наконечником, возможность применения такого оружия для пробивания доспеха находится под сомнением. К слову, античный мир имел и развитое кузнечное ремесло, и различная броневая защита широко применялась, однако специальные броневые наконечники стрел, кажется, не известны для этого периода? Может быть потому, что действенным броневым оружием были метательные копья типа *pilum*? В самом деле, зачем именно стрелять для пробития брони? Человек – это не танк, по которому стреляют с дистанции в несколько километров. Воин всегда оставляет уязвимые и видные с дистанции прямого выстрела пространства, которые просто невозможно прикрыть броней.

– Является ли шиловидный наконечник технологически более сложным (и дорогостоящим) изделием, чем, например, плоский листовидный, или срезень? Безусловно так, ведь при его изготовлении, в отличие от последних типов, для баланса стрелы в полете надо обеспечить симметрию переменного сечения металла сразу в двух перпендикулярных плоскостях. Следовательно, кузнецу не обойтись без специальных оправок или калибров, либо он должен иметь очень развитые навыки металлообработки. И почему не известны шиловидные наконечники из бронзы; ведь осевую симметрию (тело вращения) проще обеспечить литьем, а не ковкой?

Разумеется, все сказанное о броневых наконечниках является, скорее, постановкой исследовательских задач для историков вооружений на будущее, и в условиях отсутствия собственного высокотехнологичного металлообработывающего производства либо при дефиците материалов или в условиях крайней необходимости обороняющаяся сторона могла использовать все имеющиеся под рукой средства и все типы наконечников без разбора для поражения, к примеру, таких крупноразмерных и неприкрытых броней целей, коими являлись лошади кавалерии агрессора, ибо всегда самой уязвимой областью всякой “бронированной машины” является ее ходовая часть.

Видимо, применение нелетального оружия оставляет в археологическом (остеологическом) материале следы, которые трудно поддаются идентификации, они могут походить и на следы применения ударного оружия. Другое дело – заостренные наконечники, рассчитанные на проникающее ранение: наконечники с невозвратными шипами, ланцетовидные и шиловидные. Их применение четко прослеживается на костных останках. И они являются весьма эффективными экспонатами музеев. Так, например, в экспозиции Музея Антропологии и Этнографии УНЦ РАН в Уфе можно видеть бронзовый втульчатый трехлопастной неизвлекаемый наконечник стрелы, вошедший в позвонок шейного отдела человека спереди справа на глубину около двух сантиметров.

Какую информацию можно извлечь из таких свидетельств, если изучать их методами баллистики? Во-первых, можно оценить вероятность смерти пораженного стрелой. Во-вторых, можно в первом приближении судить о количестве энергии, которым обладала стрела в момент встречи с целью, и, соответственно, делать выводы о параметрах применяемого оружия. Рассмотрим некоторые свидетельства применения наконечников из разного материала.

1.3. Примеры раневой баллистики по данным археологии

1. Н.А.Лещинская обнаружила парное захоронение (№ 23) на Еманаевском могильнике. Внутри костей грудной клетки на обоих скелетах ею найдены наконечники стрел (рис. 1.1). По ее мнению, ранения этими стрелами послужили причиной смерти захороненных. Один из наконечников имеет более длинный черешок (верхний на нашем рис. 1.1).

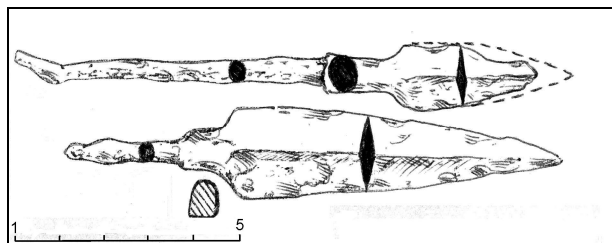


Рис. 1.1. Железные наконечники стрел, обнаруженные Н.А.Лещинской [Лещинская] на Еманаевском могильнике в окружении костей грудной клетки. (По Л.Д.Макарову [Макаров, С. 178])

Этот черешок загнут на конце. По нашему мнению, такой загиб мог появиться в результате попытки извлечь стрелу из тела жертвы. Наконечники имеют ширину 13–20 мм, следовательно, они произвели значительный разрыв тканей и обширное внутреннее кровотечение. Кроме того, сечение наконечников сильно уменьшается в черешковой части, следовательно, если они прошли в тело, например, между ребрами, раздвинув последние острием, то назад их было вынуть весьма сложно вследствие “схлопывания” раневого канала и спазмирования мышц в области раны. Видимо, попытки извлечения стрел в обоих случаях остались безуспешными, и убитые были захоронены вместе с ними.

Нами получены следующие данные при измерении габаритов этого наконечника на натуре: общая длина 95 мм, длина черешка 50 мм, наибольшее сечение черешка 5 мм, сечение жала ромбическое, 13×4 мм, диаметр причерешковой части (сечение по миделю) 9–10 мм. Второй наконечник пока недоступен для натурных измерений.

Попытаемся оценить величины кинетической энергии стрел, которые оставили рассматриваемые нами следы. “Значение кинетической энергии стрелы на границе поражения можно оценить, используя экспериментальные данные, полученные судебными медиками. Ими было установлено [Тихонов], что усилие, необходимое для нанесения колотых и колото-резаных ран телу человека равно 200...250 Н (20,4...25,5 кгс), поэтому стрелы, для нанесения проникающего ранения на глубину, обеспечивающую повреждение жизненно важных органов, должны обладать кинетической энергией не менее 15 Дж (1,53 кгс·м)” [Криминалистическое исследование...].

Способность снаряда наносить проникающие повреждения зависит от формы его головной части, кинетической энергии и площади поперечного сечения. Значение кинетической энергии снаряда на границе поражения человека носит название минимальной кинетической энергии, величина которой различна для снарядов разного калибра. Экспериментальным путем установлено, что минимальное значение кинетической энергии для снарядов (пуль) следующее: 5,6 мм – 11 Дж, 6,35 мм – 16 Дж, 7,62 мм – 27 Дж, 9 мм – 30 Дж. При этом было установлено, что пули названных калибров, обладая скоростью 100 м/с, заведомо способны нанести проникающее повреждение телу человека.

Очевидно, что при одинаковой кинетической энергии способность нанести проникающее повреждение человеку больше у пули (или наконечника стрелы) с меньшей площадью поперечного сечения. Поэтому для оценки поражающей способности снаряда предложено использовать в качестве единого критерия

значение удельной кинетической энергии пули $E_{уд} = \frac{E}{\pi \cdot R^2}$, где R – радиус максимального поперечного сечения (радиус миделя) снаряда, а $\pi = 3,14$.

Согласно произведенным оценкам пули калибра от 5,6...9 мм при скорости 100 м/с имеют удельную кинетическую энергию в интервале 40...60 Дж/см²,

поэтому за минимальное значение удельной кинетической энергии, соответствующей границе поражения человека, в криминалистике принято среднее значение этого интервала 50 Дж/см^2 [Криминалистическое исследование...].

По данным судебной медицины, при выстреле в средние отделы груди при заданных значениях удельной кинетической энергии снаряд причиняет следующие повреждения:

6...8 Дж/см² – ссадины

14...17 Дж/см² – поверхностные раны

32...36 Дж/см² – непроникающее ранение с переломами грудины

54...60 Дж/см² – проникающее ранение грудной клетки

135...145 Дж/см² – проникающее ранение грудной клетки с повреждением ее задней стенки

При невозможности измерить удельную кинетическую энергию, ее оценивают примитивным методом: по результатам стрельбы в пакет сухих сосновых досок. Поражающая способность считается достаточной, если пуля внедряется в мишень на глубину порядка своей длины [Криминалистическое исследование...]. В соответствии с принятой методикой криминалистического исследования метательного оружия “луки для отдыха и развлечений, не являющиеся метательным оружием, имеют усилие натяжения от 5 до 14 кг и конструкцию стрелы, исключающую ее проникновение в сухую сосновую доску на глубину более 8 мм. Возможность направленного выстрела проверяется экспериментальной стрельбой в мишень с расстояния порядка 5 м” [Тихонов].

В случае с нашими двумя наконечниками мы имеем дело, по меньшей мере, с проникающим ранением грудной клетки, следовательно, величина удельной энергии стрелы лежит в интервале $60...135 \text{ Дж/см}^2$. Наибольший диаметр верхней стрелы при соединении лезвия и черешка близок к 1 см, следовательно, площадь сечения S составит около $0,8 \text{ см}^2$. Тогда величина ее общей кинетической энергии при попадании в цель:

$$E = E_{\text{уд}} \cdot S = (60...135) \cdot 0,8 = 48...108 \text{ Дж} (4,9...11 \text{ кгс} \cdot \text{м}).$$

Так как $E = \frac{mv^2}{2}$, то скорость первой стрелы в момент встречи с целью

$$v_1 = \sqrt{\frac{2E}{m}}, \text{ где } m - \text{масса стрелы.}$$

Принимая во внимание указание источников², что “у древнерусских стрел вес наконечника стрелы и древка соотносится 1:5, а согласно арабским источникам это соотношение равно 1:7” [Шокарев, С. 30], получаем, что масса снаряда в 6...8 раз больше массы наконечника, которым мы располагаем, что позволяет вывести общую формулу для скорости стрелы:

² Источник этого тезиса мы приводим в соответствующей главе данного издания – см. о книге Arab Archery.

$$v_1 = \sqrt{\frac{2E}{m}}.$$

Масса наконечника m_n может быть определена взвешиванием и подставлена в формулу, что позволит получить некоторое представление о динамических характеристиках примененного лука. Взвешиванием мы установили, что наконечник весит 0,012 кг. Тогда скорость стрелы у цели составит:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (48 \dots 108)}{0,012 \cdot (6 \dots 8)}} = 31 \dots 55 \text{ м/с}.$$

Рассчитаем общую продолжительность движения этой стрелы. Допустим, она выпущена горизонтально, стрелком из положения стоя с высоты $h = 1,5$ м. Традиционный подход в физике – это разложение вектора скорости по двум составляющим – параллельной поверхности земли и перпендикулярной, при этом считается, что обе проекции изменяются независимо. В данном случае в момент пуска вертикальная проекция равна нулю, и в дальнейшем она будет изменяться так, как если бы стрела находилась в свободном падении. В этом случае время до ее встречи с землей будет определять время полета стрелы:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5}{9,81}} = 0,56 \text{ с},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения. (Расчет верен и для условия, когда стрелу выпускают под небольшим углом возвышения с тем, чтобы попасть в ростовую фигуру, либо с лошади, т.е. высоты позиции стрелка и цели различаются на 1,5 м).

Следовательно, для настильной стрельбы полученное значение времени есть общее время движения до падения. Дальнейшее исследование сводится к решению типичных физических задач: Какова была скорость стрелы при сходе с тетивы? И какова была дистанция стрельбы?

Движение стрелы в полете будет определяться двумя силами: аэродинамической и тяжести. В предположении, что векторы этих сил взаимно перпендикулярны, что с достаточно большой долей достоверности справедливо для настильной траектории, уравнение движения по закону Ньютона запишется как:

$$m \frac{dv}{dt} = -c_x \frac{\rho v^2}{2} S_m,$$

где m – масса стрелы; v – текущая скорость полета; t – текущее время полета; c_x – коэффициент лобового сопротивления, который примем в первом приближении равным единице; ρ – плотность воздуха (для нормальных атмосферных условий равна приблизительно $1,25 \text{ кг/м}^3$); S_m – площадь миделя ($0,8 \text{ см}^2 = 0,00008 \text{ м}^2$).

Перед нами дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. Для простоты дальнейших вычислений введем подстановку – постоянный член: $A = \frac{2m}{c_x \rho S_m} = \frac{2 \cdot 0,012 \cdot (6...8)}{1 \cdot 1,25 \cdot 0,00008} = 1384...1846 \text{ м} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{кг/м}^3} = \text{м} \right]$.

$$\text{Тогда: } A \frac{dv}{dt} = -v^2 \Rightarrow -A v^{-2} dv = dt \Rightarrow -A \int_{v_0}^v v^{-2} dv = \int_0^t dt \Rightarrow A v^{-1} \Big|_{v_0}^v = t.$$

В итоге скорость при сходе с тетивы определится как:

$$A \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \right) = t \Rightarrow v_0 = \left(\frac{1}{v} - \frac{t}{A} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{31...55} - \frac{0,56}{1384...1846} \right)^{-1} = 31...56 \text{ м/с}.$$

Отсюда видно, что разница скорости у цели и при сходе с тетивы почти не фиксируется. Значит, при таких скоростях и при столь незначительном времени полета работа силы лобового сопротивления невелика. А потому ускорение торможения можно принять примерно постоянным:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{c_x \rho v^2}{2m} S_m = \frac{1 \cdot 1,25 \cdot (30...55)^2}{2 \cdot 0,012 \cdot (6...8)} 0,00008 = 0,49...2,18 \text{ м/с}^2.$$

Отсюда дальность (дистанция) стрельбы:

$$S = v_0 t - \frac{at^2}{2} = (31...56) \cdot 0,56 - \frac{(0,49...2,18) \cdot 0,56^2}{2} = 17...31 \text{ м}.$$

Но вернемся к рис. 1.1. Нижняя стрела в наибольшем сечении (по миделю) представляет собой ромб с диагоналями $d_1 = 2 \text{ см}$ и $d_2 = 0,5 \text{ см}$. Его площадь $S = 0,5 d_1 d_2 = 0,5 \cdot 2 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ см}^2$.

Следовательно, величина общей кинетической энергии этой стрелы находится в интервале:

$$E_k = (60...135) \cdot 0,5 = 30...67,5 \text{ Дж (3...6,9 кгс·м)}.$$

Соответственно, взвешивание второго наконечника позволит произвести расчеты характеристик использованного метательного оружия.

Итак, что нам может дать значение конечной кинетической энергии? На рис. 1.2 приводятся номограммы, составленные по результатам внешнебаллистических расчетов для двух стрел с различной массой. При стрельбе на максимальную дальность предполагается оптимальный угол возвышения – 45° . Если на основе повреждений, произведенных стрелой, нам известен интервал значения ее кинетической энергии (см. выше) и предполагаемая дистанция стрельбы, то мы имеем возможность с помощью номограммы восстановить начальную скорость стрелы (при сходе с тетивы), и сделать заключение об энергии лука, из которого она выпущена. (Энергия лука зависит от силы натяжения и амплитуды тетивы.) Либо же, зная достоверно параметры

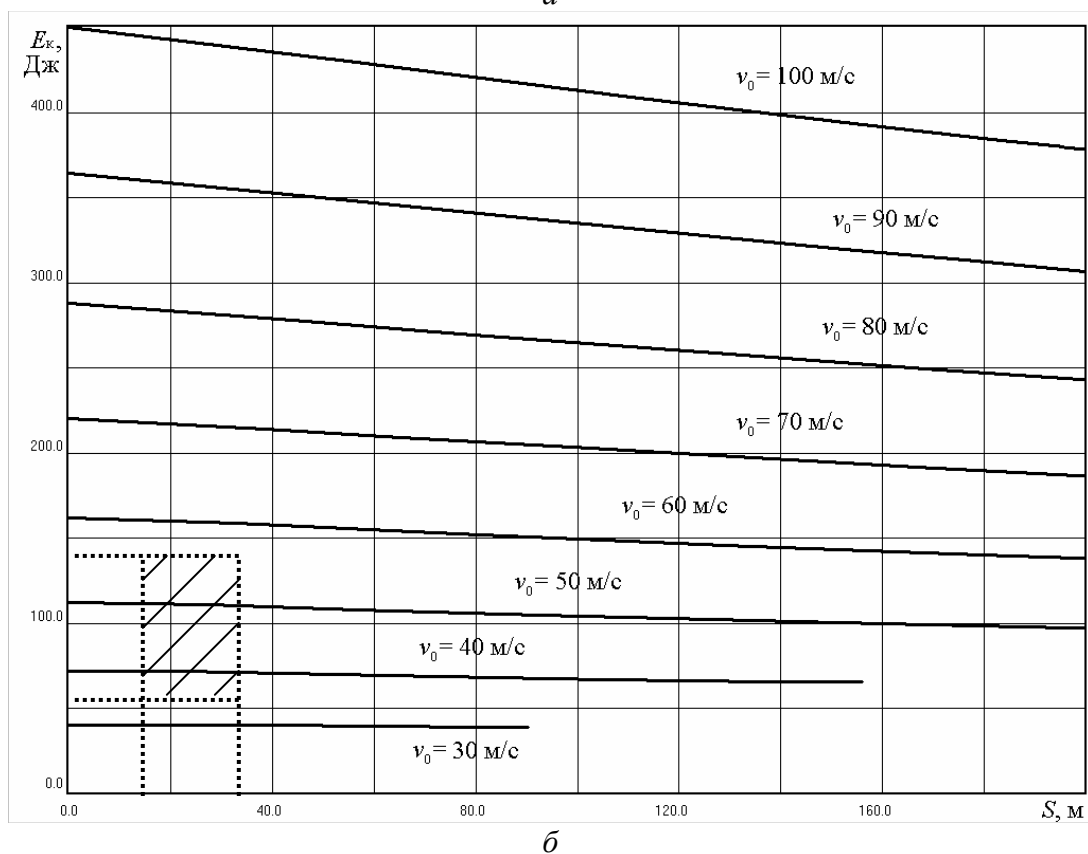
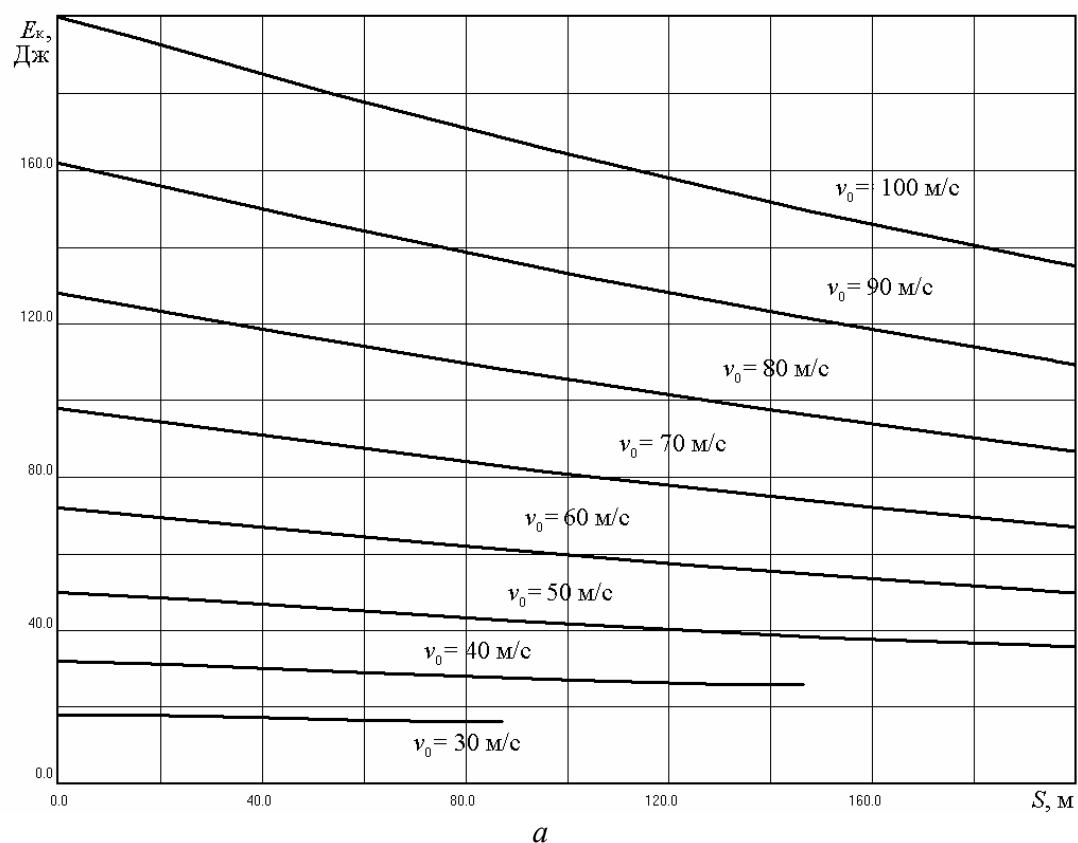


Рис. 1.2. Номограммы внешнебаллистического расчета стрел: a – масса 40 г; b – масса 90 г.
Штриховкой показана область значений для рассмотренной выше стрелы:
 $v = 31 \dots 55$ м/с; $S = 17 \dots 31$ м; $E = 48 \dots 108$ Дж

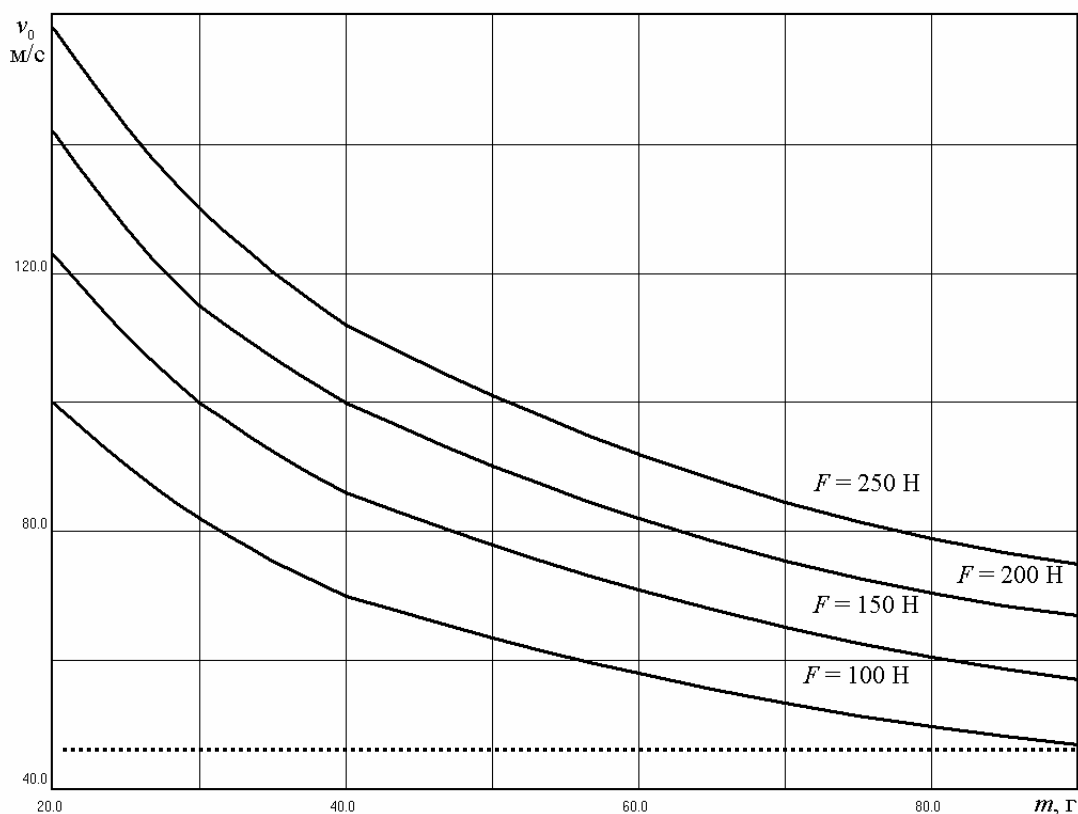


Рис. 1.3. График зависимости скорости стрелы при сходе с тетивы от ее массы для разных значений энергии лука F .
Пунктиром показана проекция на ось скорости; при $m = 90$ г, $v \approx 50$ м/с

лука, можно определить дистанцию, с которой выпущена стрела. Наконец, имея в руках наконечник стрелы, мы можем оценить дистанцию, на которой стрела сохраняла убойную силу в некотором интервале скоростей. Это позволит историку оценивать множество фортификаций с позиции их уровня защиты и реконструировать возможный облик оборонительных сооружений. Например, в случае с рассмотренной стрелой мы установили, что снаряд сохраняет убойность на дальности до тридцати одного метра. (В предположении, что лук был использован на полную мощность.)

Следовательно, если мы имеем мысовое городище, где обнаружены такие стрелы, и расстояние до коренного берега превышает названный рубеж, логичным становится предположение, что периметр по бровкам мог и не иметь защитных сооружений. С другой стороны, высота оборонительного вала (с навальными конструкциями) на перешейке должна быть достаточной, чтобы с названной дистанции перекрывать стрелку извне линию визирования на цели внутри городища.

2. В отделе этнографии Института истории, языка и литературы УНЦ РАН (Уфа) имеются кости скелета, обнаруженные в ходе археологических раскопок. Интересно, что кости, принадлежавшие одному индивиду, имеют

следы трех прижизненных ранений, но ни одно из которых не послужило причиной смерти: перелома ноги, травматической трепанации черепа и ранения стрелой. Наконечник стрелы бронзовый, трехлопастной, втульчатый. Он вошел в кость предплечья на глубину полтора-два сантиметра и плотно засел в ней³. Видимо, вытянуть его за древко стрелы не удалось; дерево просто вышло из втулки наконечника. Разумеется, древний стрелок не задавался целью проткнуть стрелой непременно кость; анатомы “сравнивают кость по прочности с некоторыми металлами (медь, железо)” [Борзяк, С. 42]. Значения плотности натуральной кости приближается к $1,99 \text{ г/см}^3$, а величина прочности вдоль волокон определяется как 200 МПа ($200 \cdot 10,2 \text{ кгс/см}^2$) при сжатии и 100 МПа при растяжении. (Для сравнения: плотность сосны $0,5 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии вдоль волокон 420 кгс/см^2 . Плотность меди около $8,96 \text{ г/см}^3$ [Общетехнический справочник, С. 165]). Костяной наконечник стрелы при ударе в цель сжимается вдоль волокон. Соответственно, материал цели (кость) раздвигается поперек волокон. Но прочность материала на сжатие вдоль волокон всегда выше прочности поперек волокон. Кроме того, кость, из которой сделан наконечник, и кость, в которую этот наконечник попадает – по сути разные кости. Известно, что наружный слой кости представлен толстой (в диафизах трубчатых костей) пластинкой компактного вещества, *substantia compacta*. Наконечники стрел сделаны именно из этого плотного вещества. В эпифизах губчатых костей, в губчатых и плоских костях этот слой тонок. Именно он и пробивается наконечником. Под компактным веществом располагается губчатое вещество, *substantia spongiosa*; пористое, построенное из костных балок с ячейками между ними, по виду напоминающих губку. Конечно, заманчиво было бы проверить прочностные характеристики кости, к примеру, динамометрически задавив в свежую трубчатую кость металлический конус аналогичный наконечнику. Однако археологические раскопки дают нам обезжиренные и высушенные (мацерированные) кости, поэтому их характеристики весьма отличаются от живой костной ткани⁴. Следовательно, для чистоты эксперимента необходимо изготовить свежие реплики костяных наконечников. Но и в этом случае элемент субъективизма неизбежен – прочностные характеристики костей у разных людей индивидуальны.

3. Е.М.Черных при раскопках Бярского “Арай” могильника обнаружила погребение (раскоп IV, №78), в котором имелся обезглавленный костяк. Правая подвздошная (тазовая) кость имеет костяной наконечник, который вошел в

³ Благодарим начальника Отдела этнографии УНЦ РАН, д-ра ист. наук Р.М. Юсупова за предоставленную возможность ознакомиться с остеологическим материалом и консультации при подготовке данной публикации.

⁴ Наша благодарность патологоанатому, канд. мед. наук С.А. Зворыгину за его консультации и ценные замечания.

нее снаружи на глубину не менее одного–полутора сантиметров и плотно засел. Возле левой стопы погребенного обнаружены четыре костяных наконечника стрел [Черных]. Костяной наконечник не имеет невозвратных шипов. Тем не менее, он не мог быть извлечен из раны. Сказанное свидетельствует о том, что в окружении жертвы не было никакого инструментария, которым можно было бы извлечь выступающий (черешковый) конец снаряда. Во-вторых, сила трения снаряда в ране оказалась выше силы сцепления наконечника с древком, и вытянуть стелу за древко тоже не удалось. Подвздошная кость является плоской костью, и ее наружный слой плотного вещества покрывает более мягкую субстанцию. Иными словами, структура цели гетерогенна, и ее материал работает подобно броне с упрочненным поверхностным слоем. Таким образом, некоторые динамические характеристики снарядов, которые застряли в кости, могут быть рассчитаны (в первом приближении) на основе общефизических законов после выявления глубины проникновения в цель путем рентгеноскопирования образцов. Вместе с тем, на сегодня не совсем ясно, возможны ли на основе данных о глубине пенетрации наконечников обратные баллистические расчеты снарядов (стрел) по аналитическим и эмпирическим формулам подобно тому, как это делают оружейники для гомогенной среды (брони) по формулам Круппа (Krupp) и Якоба Демара (Jacob DesMarres). Таким образом, в качестве постановки задач на будущее может идти речь о целом наборе алгоритмов или относительно простых формул, которые можно будет попытаться свести в единый алгоритм, позволяющий реконструировать параметры древнего лука и оборонительных сооружений на основе имеющихся археологических следов поражения стрелами.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
1.1. Зачем и как изучать действие снаряда по цели на основе археологических данных	3
1.2. Поражающие факторы стрелы	5
1.3. Примеры раневой баллистики по данным археологии.....	9
2. Общие сведения по аэробаллистической проблематике.....	18
2.1. Основная задача внешней баллистики стрелы.....	18
2.2. Обязательные допущения внешней баллистики	21
2.3. Величина силы лобового сопротивления	24
2.4. Закон силы лобового сопротивления для стрел	32
2.5. Постановка задач для эксперимента	44
3. Реконструкция параметров стрел расчетными методами.....	47
3.1. Описание ситуации	47
3.2. Слагаемые силы лобового сопротивления стрел	48
3.3. Оценка параметров стрелы через параметры наконечника	50
3.4. Длина стрелы и исследовательские подходы к реконструкции лука.....	59
3.5. Баллистическая реконструкция стрел	64
4. Принципы и возможности реляционной базы данных о стрелах	71
4.1. Ограниченность типологии А.Ф. Медведева и ее клонов.....	71
4.2. Архитектура и принципы построения базы данных.....	75
4.3. Новые возможности с использованием реляционной базы	79
4.4. Демонстрация математического метода исследования.....	84
5. Стрела из могильника Пыштайн.....	92
5.1. Натурная реконструкция и типологизирование наконечника	92
5.2. Реконструкция стрелы в сборе.....	100
6. Бронебойные проникающие малых энергий	104
6.1. Некоторые концептуальные аналоги	105
6.2. О научном подходе к моделированию бронепробития.....	110
6.3. Краткий перечень энергозатрат стрелы	111
6.4. Механизм пенетрации и типология стрел.....	112
6.5. Фрикционная гипотеза пенетрации и ассортимент наконечников	116
6.6. Срезень – бронебойное оружие массовой армии?	122
Заключение	131
Литература	133

Научное издание

Коробейников Алексей Владимирович
Митюков Николай Витальевич

Баллистика стрел по данным археологии: введение в проблемную область

Верстка *Н.В. Митюкова*
Корректор *С.А. Перевозчикова*

Подписано в печать 23.12.2006. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать на ризографе. Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 7,13.
Тираж 300 экз. Заказ № 304.

Редакционно-издательский отдел
Камского института гуманитарных и инженерных технологий
426057, г. Ижевск, ул. Советская, 13.