



ИЗЯКИ ДОПИСЬВАЮТ ИСТОРИЮ

П.А.Ваганов



**ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА**

П. А. ВАГАНОВ

ФИЗИКИ ДОПИСЫВАЮТ ИСТОРИЮ

Под редакцией д-ра истор. наук *Я. А. Шера*



**ЛЕНИНГРАД
ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1984**

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Ленинградского университета*

УДК 501+543.5 : 930

Ваганов П. А. Физики дописывают историю / Под ред. Я. А. Шера. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. — 216 с.

В книге приводятся новейшие данные по использованию достижений современной физики в исторических исследованиях. Основное внимание уделено ядерно-физическим методам датирования и изучения элементного состава различных объектов. С помощью этих методов удалось решить многие задачи археологии, палеоантропологии, палеоэтнографии, истории, искусствоведения и нумизматики. Написанная в живой и увлекательной форме, монография доступна и читателям-неспециалистам.

Книга предназначена для историков и всех, кто интересуется историей мировой культуры и применением методов естественных наук в прикладных целях.

Библиогр. 82 назв. Ил. 40. Табл. 6.

Рецензенты: канд. истор. наук **А. Н. Щеглов** (Ин-т археологии АН СССР), канд. физ.-мат. наук **Г. Е. Шукин** (Радиевый ин-т им. Хлопина).

В $\frac{С507000000—030}{076(02)—84}$ 46—84

© Издательство
Ленинградского
университета, 1984 г.

От редактора

ИСТОР И ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ: ИСТОКИ, РЕАЛЬНОСТЬ, ПРОБЛЕМЫ

В предлагаемой книге рассказывается о самых новых исследованиях исторических и археологических памятников, вещей, документов, а также монет и произведений искусства физическими и химическими методами. Тема и характер изложения интересны и увлекательны, книга читается с неослабевающим вниманием и, безусловно, найдет широкого читателя. Однако надо сказать о том, чего нет в данной книге.

Вполне естественно, что содержательная направленность книги, написанной физиком, связана с физическими, точнее, с ядерно-физическими методами. Несомненно, что это одно из самых перспективных направлений в работах, выполняемых на стыке между естественными и историческими науками. Перспективное, но не исчерпывающее. Сотрудничество между естествоиспытателями и историками стало столь широким и разнообразным, что охватить в одной книге все важнейшие достижения в этой области в нашей стране и за рубежом просто невозможно.

Ниже речь пойдет в основном о двух вопросах:

1. По тем или иным причинам получилось так, что в книге П. А. Ваганова главным образом представлены результаты зарубежных исследований. Это очень важно, поскольку они «рассыпаны» по изданиям, которые бывают недоступны не только широкому читателю, но и специалисту. Однако в связи с акцентом на материалах зарубежных публикаций может сложиться неверное впечатление, что у нас такие работы не ведутся или ведутся в ограниченном масштабе.

2. Результаты исследований, представленные в книге, дают пищу для размышлений о проблемах более широкого, можно сказать, методологического характера, поставленных достаточно давно (причем в нашей стране раньше, чем где-либо), но в настоящее время приобретающих особую актуальность. В той или иной форме эти вопросы обсуждались в специальной литературе,* однако не лишне поднять их еще раз перед более широкой аудиторией. Думается, что среди представителей естественных наук, прочитавших эту книгу, кто-то захочет внести и свою лепту в такое интересное и полезное дело. Правда, речь пойдет не обо всех исторических науках, а в основном об археологии. Это объясняется не только специальностью автора пре-

* См.: Колчин Б. А., Шер Я. А. Некоторые итоги применения естественнонаучных методов в археологии. — В кн.: Краткие сообщения о докладах и полевых исследованиях Института археологии. М., 1969, вып. 118, с. 83—100; Колчин Б. А., Шер Я. А. Абсолютное датирование в археологии. — В кн.: Проблемы абсолютного датирования в археологии. М., 1972, с. 3—10; Шер Я. А. Методологические вопросы археологии. — Вопросы философии, 1976, № 10, с. 67—79; Колчин Б. А. Естественнонаучные методы в Институте археологии АН СССР. — В кн.: Краткие сообщения Института археологии АН СССР. М., 1980, вып. 163, с. 68—76.

дисловия, но и тем, что археология раньше других исторических дисциплин оказалась вовлеченной в сферу влияния современной научно-технической революции.

Немного истории. Вначале обращение археологии к методам естественных и технических наук диктовалось сугубо конкретными задачами. «Является ли данный топор (или другой предмет) медным или бронзовым?»; «можно ли более точно определить возраст данного слоя?»; «каким был климат на этой территории 5000 лет тому назад?»; «является ли примесь мышьяка в данном бронзовом предмете случайной или преднамеренной?» — такие вопросы возникали в практике археолога все чаще и чаще, и от точных ответов на них в немалой степени зависела культурно-историческая характеристика изучаемого периода. Ответы же могли быть получены только физическими, химическими, геологическими и иными естественнонаучными методами.

Конкретность встающих вопросов и слабая осведомленность археологов в методах естественных наук, а физиков и химиков — в проблемах древней истории определяли структуру первоначальных отношений между археологией и естествознанием. Это были отношения типа «запрос — ответ, заказ — исполнение». Они возникли почти одновременно с зарождением научной археологии, в 70-х годах прошлого века, и от случая к случаю осуществлялись в течение всей первой половины нашего столетия. Передовые археологи и естественники давно понимали явную недостаточность таких контактов.

С рождением советской археологии впервые в мире была предпринята очень показательная попытка поставить связь между археологией и естественными науками на более прочный методологический фундамент. В апреле 1919 г. В. И. Лениным был подписан декрет об организации Российской Академии по истории материальной культуры (РАИМК), ныне Институт археологии АН СССР. В сентябре 1919 г. в составе РАИМК был создан Институт археологической технологии. Задачи этого, нового по тем временам, научного учреждения были сформулированы в не совсем обычном для традиционной археологии духе. В программном документе Института археологической технологии говорилось о необходимости «на совершенно конкретной исследовательской работе найти общий язык между гуманитариями и естественниками и, исходя из вещественного материала, находящегося в руках археолога, попытаться выработать новые методы анализа достижений человеческого мысли и духа на их прошлых путях».* Правда, реальные возможности не очень благоприятствовали осуществлению этой идеи: РАИМК была создана на базе дореволюционных археологических учреждений (императорской Археологической комиссии и Русского археологического общества) и унаследовала в основном старые научные кадры со свойственными им традиционными методами работы, среди которых большое место занимал коллекционерский подход. Отдельные вопросы изучения состава древних находок и технологии их изготовления и раньше рассматривались в техническом комитете императорской Археологической комиссии, но подобная постановка проблемы в целом была тогда новым шагом на пути превращения археологии из научного коллекционерства в самостоятельную историческую дисциплину, событием, новым не только для русской, но и для мировой археологии.

В составлении научной программы Института археологической технологии и в ее реализации большая роль принадлежала одному из крупнейших представителей советской науки — Александру Евгеньевичу Ферсману, фактическому организатору и первому председателю этого учреждения. Первые шаги в новом направлении советской археологии были связаны с именами таких видных ученых, как Н. М. Книпович, Н. С. Курнаков, Б. В. и М. В. Фармаковские, А. А. Миллер, С. Ф. Ольденбург, Д. Н. Анучин. Начальный этап работы Института археологической технологии был отмечен очень высокой активностью его сотрудников. На регулярно созывавшихся заседаниях института обсуждались, например, доклады А. Е. Ферсмана «Методы естест-

* *Известия* Института археологической технологии. Вып. II. Три года работы института / Под ред. А. Е. Ферсмана и М. В. Фармаковского. Л., 1924, с. 4.

вознания в археологии и истории культуры», С. Ф. Ольденбурга «К методике изучения памятников материальной культуры», Н. М. Книповича «Морские раковины Ольвии, Керчи и Пантикапея» и многие другие. Особенно интересной по конкретным результатам представлялась коллективная работа, выполненная под руководством Н. М. Книповича. В ней были не только определены виды моллюсков, найденных при раскопках античных поселений, и места их обитания в Черном и Средиземном морях, что свидетельствовало о путях импорта, но и установлено их соответствие описаниям в греческих источниках. Первая часть этого исследования осуществлялась на стыке археологии, истории и палеонтологии, вторая оказалась итогом сотрудничества палеонтолога с филологом-классиком. В частности, выяснилось, что имевшиеся сводки по находкам раковин на античных поселениях устарели, что сведения, приведенные по этому вопросу у Плиния, менее достоверны, чем у Аристотеля.

Замыслы организаторов Института археологической технологии, как это часто бывает с передовыми научными идеями, намного опередили возможности своего времени. В чем-то они не могли быть обеспечены необходимыми материальными средствами и комплексом соответствующего оборудования, в чем-то были просто не всем понятны и не для всех привычны. Так или иначе, но с начала 30-х годов наблюдается некоторый спад в работе по направлениям методологического характера. В 1931 г. институт был преобразован в лабораторию исторической технологии. Ведущее место в ее деятельности стали занимать прикладные исследования археологических объектов и памятников художественной культуры. К моменту перехода ГАИМК в состав Академии наук эта лаборатория уже не значилась в штатном расписании.

Такое положение не могло продолжаться долго. Вскоре после Великой Отечественной войны необходимость использования естественнонаучных и технических методов в археологии осознается с новой силой. В 50—60-х годах лаборатории естественнонаучных методов организуются в Институте археологии АН СССР, на кафедре археологии МГУ, в ряде республиканских археологических учреждений, в крупных музеях, на кафедрах вузов в Киеве, Баку, Самарканде, Алма-Ате, Владивостоке и др. В 1963 г. в Москве прошло первое Всесоюзное совещание по применению в археологии методов естественных и технических наук, в результате которого был опубликован солидный том докладов и сообщений.* В том же году президиум АН СССР принял специальное постановление «О внедрении в археологию методов исследований естественных и технических наук», в котором, в частности, говорилось о том, что одним из главных направлений дальнейшего развития методики археологического исследования надо считать широкое внедрение в полевые и камеральные работы методов исследований естественных и технических наук.

С этого времени начинается новый этап в развитии естественнонаучных методов археологии.

Проблемно-комплексный подход. Не следует думать, что переход к новому этапу произошел внезапно и тем более безболезненно. В ряде случаев прежний характер сотрудничества между археологами и естественниками, т. е. отношения типа «запрос — ответ, заказ — исполнение», сохранился и сейчас и будет существовать еще долго. Суть нового этапа состоит в том, что в 60-х годах центр тяжести начал постепенно перемещаться от разовых исследований отдельных находок естественнонаучными методами к комплексным проблемам, требующим длительных совместных усилий представителей разных наук. Рассмотрим вкратце наиболее важные из таких комплексных проблем.

1. Повышение эффективности полевых археологических исследований. Уже почти сорок лет советские археологи успешно используют аэрометоды, которые резко сокращают затраты времени и труда на поиск и первичное обследование древних памятников. Впервые в нашей стране авиаразведку и

* *Археология и естественные науки*. М., 1965.

аэрофотосъемку для целей археологии применил в 1946 г. выдающийся советский археолог С. П. Толстов, руководитель Хорезмской экспедиции. За один сезон была обследована огромная территория низовьев Амударьи и Сырдарьи, на которой было обнаружено более 200 неизвестных до того памятников. Для получения тех же результатов наземной разведкой потребовался бы труд нескольких отрядов в течение многих сезонов, причем не было бы полной уверенности в том, что какие-то памятники не остались в стороне от проложенных разведочных маршрутов.

Еще более эффективным оказывается в ряде случаев использование вертолета, для которого не требуется специально оборудованных посадочных площадок. Использование вертолета позволило Саяно-Тувинской археологической экспедиции под руководством А. Д. Грача в короткий срок составить подробную карту археологических памятников, попадавших в зону затопления Саяно-Шушенского водохранилища.

Аэро- и спутниковая съемка в разных зонах спектра не только экономит время и средства, но и позволяет иногда увидеть то, что никаким иным способом заметить невозможно, особенно на распаханых, заросших или застроенных участках.

Не один десяток лет используются советскими археологами и геофизические методы разведки и исследования археологических памятников (электропрофилирование, магнитометрическая и сейсморазведка, геоакустическая локация), а также геохимические и геоботанические методы. Они могут применяться самостоятельно, но особенно значительные результаты получаются при их сочетании с данными аэрофотосъемки. Хорошим примером является упомянутое в этой книге открытие К. В. Шишкиным больших трупольских поселений, сделанное, можно сказать, не выходя из кабинета, при дешифрировании аэрофотоснимков. Это открытие затем было проверено и подтверждено Н. М. Шмаглием и В. П. Дудкиным с помощью геомагнитной разведки и ограниченных раскопок. Не менее, если не более интересны по методическому уровню совместные работы археологов и геофизиков на Тарханкутском полуострове в Крыму под руководством А. Н. Щеглова и В. В. Глазунова.

Здесь, на месте раскопок сельского поселения античной эпохи (IV—III вв. до н. э.), создан своеобразный полигон для разработки комплексной методики археолого-геофизического исследования памятника. Данные топографической и аэрофотосъемки совмещаются со схемами расположения растительного покрова, а также с планами, снятыми методом электропрофилирования или с помощью магнитометра. На смену малоэффективным оптико-механическим приборам пришли современные квантовые и протонные магнитометры, позволяющие производить такую съемку с высокой скоростью и точностью. Достаточно сказать, что на магнитном плане одного сооружения был зафиксирован пролом в стене, сделанный тараном, и след от сгоревшего бревна, использованного в качестве тарана.

Все подобные наблюдения получают еще до раскопок. Правда, из этого вовсе не следует, что теперь можно вообще обходиться без раскопок. Раскопки всегда были и останутся наиболее полноценным способом изучения древних памятников. Но когда структура и планировка объекта не вполне ясны, при его раскопках расходуется много сил и средств на непроизводительные земляные работы. Рассмотренная методика позволяет свести такие затраты к минимуму.

2. *Хронология древних культур и их синхронизация.* Значительная доля усилий археолога направлена на установление абсолютного и относительного возраста изучаемых памятников. Нередко только этот вопрос становится главной целью многих трудоемких и изощренных специальных исследований. Без достоверного знания хронологии, без возможности синхронизации памятников разных регионов, разумеется, неосуществима никакая историческая реконструкция.

Одним из основных методов построения хронологических шкал пока являются трудновоспроизводимые датировочные «цепочки», позволяющие по сходству вещей привязать дату того или иного памятника к установленной

по письменным источникам хронологии древнего Египта, Месопотамии и Средиземноморья. Что же касается таких эпох, как палеолит, то здесь единственными ориентирами долго оставались геологические наблюдения. До середины XX в. у геологии не было в этой области серьезного «конкурента», но точность геологических датировок оставляла желать лучшего. Поэтому неудивительно пристальное внимание археологов всего мира к радиоизотопным методам датирования древних культурных отложений и особенно к открытому американским физиком У. Ф. Либби радиоуглеродному методу.

Публикация Либби о радиоуглеродном методе увидела свет в 1947 г., а в 1955 г. в Ленинграде уже действовала радиоуглеродная лаборатория Института археологии АН СССР. Ее организаторами были археолог проф. С. И. Руденко и радиохимик чл.-кор. АН СССР И. Е. Старик. Уникальное оборудование для анализов и измерений было практически создано руками сотрудников лаборатории, и вскоре уже был определен возраст двух первых археологических образцов с территории СССР: угля из четвертого слоя пещеры Джебел (раскопки А. П. Окладникова в Средней Азии, возраст 6030 ± 240 лет) и угля из Кара-Тепе близ Ашхабада (раскопки В. М. Массона, возраст 4700 ± 220 лет). С тех пор лабораторией установлен возраст более тысячи образцов (из них целый ряд серийных), а статистическая ошибка измерений снижена до 0,2—0,3%.

В книге П. А. Ваганова, в частности, рассказывается о том, как с помощью радиоизотопных методов датирования ископаемых остатков удалось отодвинуть начало человеческой истории более чем на миллион лет в древность. Это фундаментальное открытие археологами было воспринято относительно спокойно. Но вот радиоуглеродные датировки памятников неолита и раннего бронзового века Юго-Восточной Европы входили в научный оборот в обстановке драматической дискуссии, длившейся около десятка лет в печати и на международных конгрессах. В ходе ее с максимальной полнотой проявился новый характер отношений между естественными науками и археологией: не просто «запрос — ответ», но и необходимость в обратной связи. Без заведомо твердо датированных образцов из гробниц египетских фараонов Либби было бы значительно труднее построить первую проверочную шкалу. Однако намного важнее другое. Упомянутая дискуссия показала настоятельную потребность дальнейшего совершенствования самого радиоуглеродного метода. Были обнаружены новые, не учтенные ранее физические эффекты, уточнен период полураспада ^{14}C , выявлены источники временных вариаций радиоуглерода в атмосфере и другие факторы, которые вносили искажения в радиоуглеродные датировки. Существенный вклад в эту работу был сделан советскими специалистами. Теперь радиоуглеродный метод является мощным орудием в руках археолога, особенно при изучении памятников дописьменных эпох.

Аналогичный характер обратной связи можно проследить и по другим естественнонаучным методам датирования археологических объектов: дендрохронологии, археомагнетизму, термолуминесценции, успешно используемым в советской археологии.

3. История древней технологии. Это название не раскрывает всей глубины содержания проблемы или, точнее, нескольких проблем. Среди них можно упомянуть такие, как развитие первобытной техники и ее использование в культурах разных хозяйственных типов: охотничье-рыболовецких, земледельческих, скотоводческих. В качестве составных частей сюда входят методы экспериментальной археологии, основанные на применении современных высокоточных измерительных приборов и другой аппаратуры, а также работы комплексного археолого-экологического направления. В развитии экспериментальных исследований по изучению техники каменного века советская археология прочно удерживает первенство благодаря основополагающим трудам С. А. Семенова. По изучению керамики много интересного сделано А. А. Бобринским, а в исследовании древней металлообработки черных и цветных металлов — Б. А. Колчиным, Н. В. Рындиной, Н. Н. Тереховой, Б. А. Шрамко.

Особенно интересные результаты были получены у нас в области исто-

рии древнейшей металлургии меди и бронзы по данным химического, металлографического и спектрального анализов (работы И. В. Богдановой-Березовской, Д. В. Наумова, И. Р. Селимханова, Ц. Абесадзе, Р. Бахтадзе и др.). Самыми успешными в этой области стали работы Е. Н. Черныха, которому удастся сочетать археологическое изучение древних выработок с типологическим и физико-химическим исследованием металлических изделий. В книге П. А. Ваганова приводится много интересных примеров решения подобных «загадок» методом нейтронной активации, который позволяет устанавливать происхождение и состав древних вещей, в том числе и металлических. Однако нейтронно-активационный анализ очень дорог для археолога. Если нужно установить подлинность какого-либо шедевра, не приходится считаться с расходами на экспертизу. Но когда для решения той или иной историко-археологической проблемы необходимо сделать сотни либо даже тысячи анализов древней бронзы или меди, метод нейтронной активации превращается пока в недостижимую мечту.

Работы Е. Н. Черныха убедительно показали, во-первых, что результаты количественного спектрального анализа позволяют достаточно точно ответить на большинство вопросов, связанных с историей древней металлургии; во-вторых, что техникой и методикой такого исследования может вполне квалифицированно овладеть археолог. Последнее особенно важно, поскольку дает возможность наладить массовое производство анализов. Новые данные, полученные таким комплексным путем, во многом изменили и расширили наши представления о знаниях и навыках древнейших металлургов Евразии. Оказалось, например, что древнейший металл поступал в Европу не из Передней Азии, как это считалось раньше, он выплавлялся из руды, добытой в Балкано-Карпатском регионе. Считалось, что примесь «вредного» мышьяка в древних бронзах имеет естественный характер и связана с составом руд. В результате новых исследований выяснилось, что уже в III тысячелетии до нашей эры кавказские литейщики знали легирующие свойства мышьяка и намеренно добавляли его к меди.*

Подобные исследования, а также близкие по методике анализы керамики, кремневых изделий и других материалов показывают, что естественно-научные и технические методы становятся неотъемлемыми методами археолога.

4. *Человек и природная среда в древности.* Распространено мнение, что эта проблема возникла сравнительно недавно, в связи с общим ростом популярности экологических проблем. На самом деле комплексному, или, как теперь принято говорить, «экосоциальному», подходу к изучению археологических памятников уже более ста лет. Примечательно, что первой в мировой археологии работой, в которой такой подход был реализован практически, стала книга, изданная в России в 1882 г. под названием «Доисторический человек каменного века побережья Ладожского озера». Ее автором был проф. Александр Александрович Иностранцев, заведовавший в то время кафедрой геологии и палеонтологии Петербургского университета. В качестве соавторов выступали геологи Н. А. Соколов, П. Н. Венюков, Б. З. Козленко, биологи К. Ф. Кесслер, А. П. Богданов, М. Н. Богданов, М. А. Тихомиров, И. Ф. Шмальгаузен, антрополог и этнограф Д. Н. Анучин. Это была не только первая, но и весьма успешная попытка всестороннего рассмотрения конкретных условий жизни неолитических рыболовов и охотников древнего Приладожья.

К сожалению, книга А. А. Иностранцева не могла еще положить начало новому направлению в изучении истории первобытности и на много лет осталась единственной в своем роде. Не следует забывать, что тогда всякое научное обсуждение проблем истории первобытного человека, противоречащее библейским канонам, встречалось «в штыки» церковными кругами, игравшими влиятельную роль в цензуре.

* См.: Черных Е. Н. Металл, человек, время. М., 1972.

Уже в 20—30-х годах советские археологи обратились к комплексному изучению памятников первобытности. Важнейшими достижениями в этой области были результаты исследования пещерных палеолитических стоянок Крыма (работа Г. А. Бонч-Осмоловского в содружестве с геологами и биологами) и доказательство существования в эпоху позднего палеолита долговременных, прочных жилищ (работы П. П. Ефименко, С. Н. Замятина). В 1958—1959 гг. А. П. Чернышу удалось обнаружить на Днестре долговременное жилище мустьерской эпохи.

Исследование палеолитических жилищ и содержащихся в них остатков может показаться достаточно узкой и сугубо историко-археологической проблемой. Однако комплексный подход к изучению древнейших жилищ позволяет раскрыть суть одного из начальных моментов активного воздействия человека на окружающую среду и ее преобразование для удовлетворения своих потребностей. Раньше такие работы действительно были в основном делом археолога, который был волен по собственному усмотрению обращаться за консультациями к тем или иным специалистам в области естественных наук. Сейчас такие памятники, как правило, исследуются комплексными экспедициями, состоящими из представителей разных дисциплин, которые совместно с археологами формируют многоаспектную стратегию изучения памятника.

Комплексный подход к археолого-экологическим исследованиям позволил по-новому оценить ряд установленных ранее фактов, которые теперь можно было увязать в единую систему и дать им более глубокое историческое объяснение. Например, было известно, что в раннем голоцене полностью вымирает так называемый мамонтовый фаунистический комплекс. Было также известно, что в это время начинаются заметные изменения в технике изготовления каменных орудий, идущие по линии их миниатюризации, совершенствуется техника изготовления орудий из кости и рога, появляются гарпуны, рыболовные крючки и, наконец, лук и стрела. Палеогеографические данные указывали, что примерно в ту же геологическую эпоху происходит существенная перестройка ландшафта и климата в сторону потепления и усиленного распространения зоны лесов.

Пока эти факты рассматривались порознь, они представляли определенный, но, так сказать, локальный интерес для каждой отдельной отрасли знания. Но если к этим же фактам подойти как к частям сложной динамической системы, то оказывается, что они вписываются в более общий естественноисторический процесс, в котором природные и социальные механизмы взаимосвязаны и влияют друг на друга. В распаде мамонтового комплекса наряду с природными факторами немалую роль сыграл и человек с его истребительными загонными охотами. Исчезновение крупных по своей биомассе животных, в свою очередь, повлияло на человека, заставив его переориентироваться на другую дичь и создавать новые орудия охоты, менять ее тактику. Условия жизни в лесных массивах требовали выработки новых механизмов адаптации, а последние оказывали определенное воздействие на микроландшафты и биогеоценозы.

* * *

В заключение можно сделать некоторые выводы. Главный из них, по-видимому, состоит в том, что изучение давнего прошлого не извлекает исторические науки от необходимости быть современными по теоретическому потенциалу, методике и технической оснащенности. Объективные процессы, присущие НТР, затрагивают не только естественные и технические, но и гуманитарные науки. В археологии они проявились более наглядно, чем в других исторических дисциплинах, в силу специфики самого предмета изучения — вещественных памятников. С одной стороны, эти памятники являются

продуктами деятельности людей в разные исторические эпохи и изучаются методами гуманитарного источниковедения. С другой, — будучи физическими объектами, вещественные памятники могут изучаться с точки зрения их физических, химических и иных свойств, в которых также отражены следы различных исторических событий и явлений.

Изменения в познавательных средствах исторических наук, присущие эпохе НТР, имеют глубокие корни. Во всяком случае, в археологии они хорошо заметны. Например, предшественники таких традиционных археологических методов, как стратиграфический, типологический, картографический, разрабатывались для потребностей естественных наук. Стратиграфический метод зародился в геологии и палеонтологии, картографический — в географии, типологический сформировался под влиянием эволюционной биологии. Однако археология не заимствовала механически методы других отраслей знания. Они подверглись глубокой переработке в соответствии с задачами исторической науки. Закономерности накопления культурных слоев не тождественны законам формирования напластований земной коры. Поэтому стратиграфический метод археологии существенно видоизменился по сравнению со своим геолого-палеонтологическим предшественником и стал методом гуманитарной науки, причем его надежность в ряде случаев превосходит надежность данных письменных источников. А нынешние требования сочетать стратиграфические наблюдения с определениями абсолютного возраста, например по радиоуглероду, делают его еще более точным.

Типологический метод, освободившись от вульгарно-биологических наслоений, присущих ему на начальном этапе использования в археологии, тоже превратился в метод изучения *истории* типов вещей. Современные идеи соединения типологических концепций с методами математико-статистической обработки данных порождают новые средства исторического анализа. К тому же возможность взаимных проверок типологических рядов и стратиграфических последовательностей (особенно при наличии абсолютных дат слоев) позволяет археологу оперировать более дробными и точными временными интервалами.

Сравнительно недавно возникло и новое направление — применение технических средств в полевых работах. Пока археологи обычно пользуются геофизическими приборами, разработанными для иных целей, в основном для поиска полезных ископаемых. Для археологической разведки и исследования бывают необходимы приборы с несколько иными параметрами. Поэтому уже сейчас возникает потребность в создании специализированного археологического приборостроения.

Еще одна заметная тенденция состоит в том, что, осваивая естественно-научные методы исследования древних памятников и вещей, археолог одновременно осваивает и методы обработки данных, принятые в этих науках. Такое положение заставляет его по-новому осмысливать язык своей науки, ее понятийный и логический аппарат и там, где это оправдано, вносить определенные изменения в структуру научных рассуждений.

Взаимодействие естественных и гуманитарных наук — пока еще малоизученное, сложное и многостороннее явление со своими успехами и издержками. Некоторые гуманитарии с недоверием относятся к такого рода новациям, и это можно понять. Дискуссия 50—60-х годов о радиоуглеродной хронологии показала, что такой скептицизм может быть полезным. С другой стороны, среди естественников имеет хождение иллюзия о том, что достаточно научить гуманитария языку и логике точных наук и математике и он сможет решать самые сложные проблемы. Или, что еще хуже, иногда специалисты в области точных наук делают «сенсационные» открытия в якобы легкой доступной пониманию гуманитарной области.*

* См., например: *Постников М.* Величайшая мистификация в истории? — *Техника и наука*, 1982, № 7, с. 28—33.

Вместе с тем положительные тенденции, порождаемые взаимодействием гуманитарных и естественных наук в эпоху НТР, необратимы. Их можно тормозить или стимулировать, но нельзя не замечать. В этой ситуации важное значение имеет искусство своевременно распознать те новшества, которые нуждаются в поддержке, и, наоборот, видеть за внешней наукообразностью то, что не способствует подлинному развитию знания. Естественно, здесь возникает вопрос о критериях такого выбора. Думается, что важнейший из них тот, который учитывает, как новые методы обеспечивают прирост новых знаний.

Книга П. А. Ваганова «Физики дописывают историю» состоит как раз из таких примеров, когда новые методы изучения исторических и археологических материалов порождают новые знания, неизвестные ранее факты, которые на сегодняшний день иным путем получить было бы невозможно.

Я. А. Шер,
9 марта 1983 г.

ВВЕДЕНИЕ

Для эпохи научно-технической революции, в которую мы живем, характерно сотрудничество ученых, работающих в разных отраслях знаний. Привычными стали исследования, выполняемые на стыках наук, как правило, они весьма плодотворны. Чаще всего стыкуются смежные дисциплины, однако и удаленные друг от друга науки испытывают взаимное «притяжение». Ученым, решающим проблемы гуманитарных наук, приходят на помощь физики и химики, биологи и математики. В результате содружества «гуманитариев» и «естественников» исследование переводится на качественно новый, более высокий уровень. Общность поставленной цели требует совместной работы представителей разных наук на всех этапах. Эффективное соединение гуманитарных и естественных наук сопровождается их взаимным проникновением, создаются не просто стыки наук, а своеобразные зоны их синтеза.

Последние десятилетия показали, что в исторических науках перспективно привлечение физических методов исследования. Разнообразие физических методов, их высокая чувствительность, возможность неразрушающего или дистанционного изучения различных объектов обуславливают постоянное расширение сферы применения этих методов, о чем свидетельствует возрастающий поток специальных публикаций. Появились журналы, например издаваемая в Англии «Археометрия», где печатаются статьи с результатами совместных работ историков и физиков. Электро- и магниторазведка, радиоизотопное, палеомагнитное и термолюминесцентное датирование, спектроскопия в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях, рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализ, электронное и протонное микрозондирование, активация нейтронами, заряженными частицами и гамма-квантами, масс-спектрометрия и электронная микроскопия — таков далеко не полный перечень физических методов исследования, уже успевших хорошо зарекомендовать себя в истории, археологии, искусствоведении. Чтобы точно формулировать задачи и планировать

будущие эксперименты, представителям гуманитарных наук необходимо четко знать о тех возможностях, которые заложены в богатейшем арсенале средств современной физики. Этому, как нам кажется, может способствовать обзор, сделанный в предлагаемой книге. Автору хотелось подобрать и систематизировать интересные примеры совместной деятельности физиков и историков, связанной с решением разнообразных научных задач. Причем основное внимание было уделено работам, совсем недавно опубликованным в специальных журналах, как в СССР, так и за рубежом.

Электромагнитное поле указывает место будущих раскопок

Многие археологические исследования начинаются с поисково-разведочных работ в местах предполагаемого расположения памятников. Поиски и разведка бывают связаны с раскопками, часто довольно глубокими. Культурные и почвенные слои постоянно растут, и следы былой жизни и деятельности людей уходят все глубже. Все неоткрытые еще памятники погребены под солидными пластами земли, для их обнаружения целесообразно брать пример с геологов и геофизиков, которые разыскивают глубокозалегающие месторождения полезных ископаемых по характерным особенностям электромагнитных полей вокруг рудных тел или залежей нефти. Геофизическая рекогносцировка позволяет «заглянуть» под мощные слои земли, не вскрывая их.

Освоение необжитых территорий, прежде всего вблизи городов, в настоящее время идет очень быстро. Если археологическую разведку вести медленно, то неисследованный памятник может оказаться частично или полностью разрушенным в результате нового строительства. Для ускорения разведки нужны экспрессные методы, и этому требованию удовлетворяют геофизические методы.

Следует также подчеркнуть, что при археологических раскопках, как правило, применяется ручной труд. Но ручной труд сейчас дорог, поэтому для снижения стоимости раскопок надо свести его объем к минимуму. Точная локализация подземных объектов, гарантирующая наименьшие затраты, может быть осуществлена после исследования электромагнитного поля на поверхности.

История изучения геофизических полей над археологическими памятниками насчитывает более трех десятилетий. Пионером использования геофизики в археологии был англичанин Р. Аткинсон. В 1946 г. он начал электроразведочные работы на территории графства Дорсетшир и с минимальными расходами открыл десять неолитических поселений. С тех пор арсенал геофизических методов и приборов, применяемых археологами,

значительно обогатился. Это позволило картировать обширные пространства, составлять планы нераскопанных памятников площадью в десятки и сотни тысяч квадратных метров. С другой стороны, ультравысокая чувствительность физических приборов обеспечивает поиски очень малых предметов, иногда массой всего лишь в грамм. Задачи, связанные с разведкой самых больших и поисками самых малых объектов, относятся к особенно трудным в археологии.

Ниже рассматриваются три примера успешной работы физиков и геофизиков на археологических памятниках, занимающих значительные площади. Это, во-первых, огромный стадион (цирк) в бывшем Карфагене и, во-вторых, одно из поселений трипольской культуры на Украине, насчитывающее остатки свыше 1,5 тыс. домов с возрастом около 5 тыс. лет. Оба этих памятника до сих пор не раскопаны. Третий пример иллюстрирует возможности современной физической аппаратуры, он показывает реальность обнаружения в слое земли даже одной мелкой серебряной монеты. Так, с помощью электронного прибора был собран клад саманидских дирхемов, рассеянных по большому полю.

Как был начерчен план погребенного под землей стадиона в Карфагене. Главный город государства, некогда занимавшего весь север Африканского континента, — Карфаген был полностью разрушен в 146 г. до н. э. Три года длилась Третья пуническая война, в результате которой римляне, несмотря на отчаянное сопротивление карфагенян, овладели их столицей. Из 700 тыс. ее обитателей в живых осталось лишь 50 тыс., все они были проданы в рабство. Карфаген сравняли с землей, и всю территорию потом перепахали. По распоряжению римского сената была устроена специальная церемония, на которой полководец Сципион Младший, прозванный Африканским, объявил, что всякий, кто поселится на месте бывшего Карфагена, будет проклят.

Однако район Карфагена пустовал недолго. На севере Африки образовалась римская провинция, ее центром стал новый Карфаген, построенный римлянами. За сто с лишним лет, к началу новой эры, римский Карфаген превратился в большой и процветающий город. Греческий географ Страбон писал о нем, как о втором после Рима городе империи. Римские императоры следили за благоустройством Карфагена. Так, по приказу императора Адриана построили акведук длиной около 140 км, часть этого сооружения с арками высотой 40 м сохранилась до наших дней. Также при Адриане, в начале II в. н. э., в Карфагене был возведен огромный театр. Скопированный с римского Колизея, он вмещал несколько десятков тысяч зрителей.

Римский Карфаген часто менял названия. При Адриане его переименовали в Адрианополь. В конце II в., при императоре Коммодe, Карфаген назывался Александрия Коммодиана Кар-

фаго. Во время правления Каракаллы название города вновь поменяли, исключив из него первую часть.

Римский Карфаген славился не только театром. В нем было много великолепных храмов, воздвигнутых в честь различных богов и богинь. Интенсивно развивался при римлянах карфагенский порт. Во всех «микрорайонах» города были бани. А на западной окраине находился стадион. В те времена его называли цирком, но арена здесь была не круглой, а сильно вытянутой. Может быть, правильнее называть это сооружение ипподромом, так как именно конные скачки сделали карфагенский цирк знаменитым. Скачки на колесницах были необычайно популярны в римском Карфагене, тому есть немало свидетельств. Скачки изображены на найденных при раскопках больших мозаичных панно, украшавших когда-то богатые дома в Карфагене. Обнаружены таблички, на которых увековечены сетования лиц, сделавших ставки на проигравших лошадей и потерявших значительные суммы денег.

Стадион, несомненно, играл важную роль в общественной жизни Карфагена, поэтому его изучение вызывает неослабевающий интерес. Чтобы проследить историю этого уникального и грандиозного сооружения, нужно ответить на многочисленные вопросы, связанные с планировкой стадиона, его архитектурой, особенностями применявшихся строительных конструкций. До недавнего времени такие ответы были весьма приблизительными или отсутствовали совсем.

С середины III в. римский Карфаген постепенно приходит в упадок. В начале V в. в Северную Африку вторглись переправившиеся через Гибралтарский пролив варвары, которые захватили город. Впоследствии Карфагеном владела Византия, а позднее — арабы. Сейчас на месте Карфагена находится Тунис, столица одноименного государства. Значительная часть древнего Карфагена расположена в столичных пригородах. Развалины стадиона скрыты под мощным слоем земли на окраине Туниса. На поверхности от него почти ничего не осталось. В XIX в., во времена французской колонизации Северной Африки, следы прошлого были богаче, но уже тогда на месте стадиона лежали одни руины. Камни карфагенских развалин использовали для строительства новых домов. В конце концов там, где раньше неслись колесницы и на трибунах бушевала многотысячная толпа, образовался огромный пустырь. В 1872 г. через это место проложили железную дорогу, что, конечно, не способствовало сохранению остатков античных построек.

Французские историки и археологи, а также специалисты из других стран неоднократно принимались за изучение карфагенского стадиона. Больших раскопок здесь никогда не проводили, прежде всего из-за гигантских размеров объекта. Однако полученные в разное время сведения и сделанные на их основе выводы были скудными и противоречивыми. Даже в во-

просе о габаритах стадиона у исследователей не сложилось единого мнения. При оценке длины называли разные цифры — от 500 до 700 м. Оценивая ширину, приводили значения от 90 до 107 м. Трудно было ответить на вопрос о вместимости стадиона, для этого требовалось знать площадь трибун и количество рядов. Французский археолог А. Лезин, специалист по древнеримской архитектуре в Африке, опубликовал в 1961 г. статью, где подсчитал, что стадион вмещал 83 тыс. зрителей. Как выяснилось после геофизического картирования укрытых на глубине остатков стадиона, эта цифра оказалась сильно заниженной.

Изучение древнего Карфагена на территории Туниса в настоящее время ведется под эгидой ЮНЕСКО. В 1972 г. по приглашению ЮНЕСКО в Тунис прибыла комплексная экспедиция из Польской Народной Республики. Экспедиция была организована Институтом истории материальной культуры Польской академии наук. В нее входили два профессора-археолога, три геофизика, а также специалист по радиоэлектронике.

Шесть ученых провели в Тунисе четыре месяца и исследовали с помощью геофизических методов в пригородной зоне столицы общую площадь размером 320 тыс. кв. м. Примерно две трети этой площади приходились на территорию, которую в прошлом занимал карфагенский стадион. Именно здесь и были получены самые полные и интересные результаты.

Экспедиция хорошо подготовилась для работы на месте бывшего Карфагена. Были изучены труды историков, проанализированы все старые и новые карты Туниса, исследованы аэрофотоснимки. Основной багаж экспедиции составляла геофизическая аппаратура — электроразведочные приборы, магнитометр и гравиметр.

Пробные измерения, сделанные на месте, показали, что большую часть картирования следует провести методом электроразведки. С помощью этого метода можно уверенно выявлять различие в электрическом сопротивлении находящегося под землей каменного материала и той среды, в которой залегают остатки стен и фундаментов. Сопротивление глинистой почвы, характерной для окраин Туниса, намного меньше сопротивления строительного камня, это сразу отметили электроразведочные приборы. А магнитометр практически не мог работать, на его показания постоянно накладывались различные внешние помехи. Магнитное поле над объектом исследования искажалось из-за близости линии электропередачи, железной дороги, трансформаторной станции. Кроме того, вся территория была замусорена металлическими предметами: консервными банками, кусками труб, проволоки. Большое количество этих предметов находилось под землей, что сильно мешало нормальной работе магнитометра. Приборы, предназначенные для измерения электрического сопротивления, напротив, мало чув-

ствительны к помехам как от высоковольтных линий, так и от металлического мусора. Что же касается гравиметра, то его использовали в тех случаях, когда нужно было дополнить данные метода электроразведки.

Чтобы измерить электрическое сопротивление грунтов, почв или горных пород, в них вводят ток от внешнего источника, например от батареи (рис. 1). Питающие электроды *A* и *B* представляют собой прочные металлические стержни, забиваемые в землю на глубину около полуметра. К их верхней части присоединяют провода от источника тока. На линии, соединяющей точки *A* и *B*, располагают приемные электроды *M* и *N*. Ток от питающего электрода *B* распространяется в исследуемой среде и направляется к электроду *A*. Амперметр, включенный в

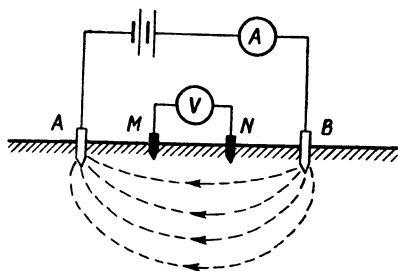


Рис. 1. Схема измерения электрического сопротивления грунта.

A — амперметр; *V* — вольтметр; *A* и *B* — питающие электроды; *M* и *N* — приемные электроды.

цепь питающих электродов, измеряет I — величину этого тока. На участке *MN* образуется разность потенциалов ΔU , которую можно измерить вольтметром, включенным в цепь электродов *M* и *N*. В соответствии с законом Ома легко вычислить величину кажущегося удельного сопротивления почвы или породы по формуле

$$\rho_k = K(\Delta U/I),$$

где K — коэффициент, зависящий от расстояния между электродами в используемой установке.

После того как получено значение ρ_k на данной точке, всю установку *AMNB* передвигают и измеряют кажущееся удельное сопротивление в соседней точке. При этом перемещаются по заранее намеченному прямолинейному пути, что позволяет получить профиль значений ρ_k ; вот почему рассмотренный метод электроразведки и называется электропрофилированием.

Если под исследуемым участком поверхности залегает остаток каменной стены, то измеряемое кажущееся сопротивление ρ_k резко возрастает, что и означает появление положительной аномалии на данном профиле. Величина положительной аномалии зависит от соотношения между удельными сопротивлениями почвы и камня, от глубины залегания объекта и от его протяженности. Геофизики, участвовавшие в экспедиции 1972 г., определили максимальную мощность перекрывающего карфагенские руины слоя земли, при которой еще возможна идентификация скрытого объекта. Для этого был поставлен

следующий эксперимент: электропрофилирование проводили над фрагментами стен, которые закапывались на различных глубинах.

Как показывает рис. 2, на котором изображено несколько

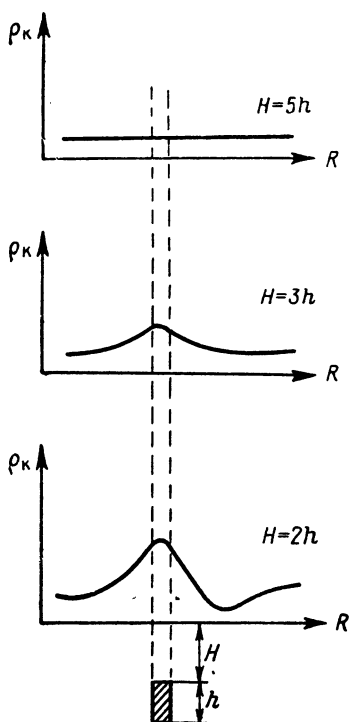


Рис. 2. Кривые электропрофилирования, соответствующие различным глубинам залегания фрагмента каменной стены.

кривых электропрофилирования, величина положительной аномалии затухает по мере возрастания глубины залегания объекта. Когда слой земли в пять раз превышает толщину стены, аномалия исчезает. В процессе исследования карфагенского стадиона выяснилось, что большая часть его стен имеет толщину около метра (стены, несшие на себе нагрузку трибун, были значительно толще). С другой стороны, археологическое зондирование, при котором в нескольких точках были сделаны небольшие пробные раскопы, обнаружило, что слой земли над руинами стадиона варьи-

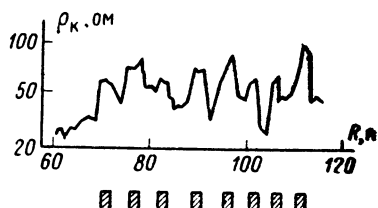


Рис. 3. Профиль значений ρ_k над остатками стен, поддерживавших трибуну стадиона в Карфагене.

рует от 1 до 3 м. Следовательно, методом электропрофилирования можно было выявить практически все погребенные остатки фундамента и стен, что в конце концов и было сделано.

Исследователи проложили через территорию над стадионом целый ряд профилей, проходивших в разных направлениях, но в основном перпендикулярно друг другу. Шаг смещения по каждому профилю, т. е. расстояние между двумя соседними точками замера, составлял 1 м. В общей сложности было обследовано более 15 тыс. точек и получено такое же количество значений ρ_k . Аномалии, соответствующие остаткам стен, четко выделялись повышенными значениями ρ_k и прослеживались на параллельных профилях. На рис. 3 представлены резуль-

таты измерения ρ_k по профилю, пересекавшему остатки стен, поддерживавших трибуны стадиона. Здесь на участке протяженностью более 50 м обнаружено восемь шедших параллельно друг другу мощных стен. Позже выяснилось, что это были поперечные стены под трибунами; кроме них имелось несколько продольных стен. Геофизические измерения в районе расположения трибун свидетельствовали о весьма прочной конструкции, выдерживавшей колоссальную нагрузку.

Для обработки результатов измерений использовалась ЭВМ, которая помогла согласовать полученные данные и нарисовать карту электрического сопротивления, характеризовавшую всю исследованную площадь. Составленная карта позволила локализовать все подземные объекты, погрешность в определении местонахождения отдельных элементов конструкции стадиона не превышала метра. При огромных размерах сооружения достигнутую точность можно было считать вполне достаточной. На основе карты распределения кажущегося электрического сопротивления и был начерчен план всего древнеримского спортивного комплекса.

План карфагенского стадиона содержит много интересной информации. Прежде всего оказалось, что фактически все делавшиеся раньше оценки габаритов сооружения, размеров арены, беговых дорожек, трибун были ошибочными. Теперь удалось точно определить габариты стадиона: его полная длина составляла 550 м, а ширина — 148 м. Таким образом, в прежних исследованиях длина, как правило, завышалась, а ширина в значительной мере недооценивалась. По новым данным длина арены равнялась 448 м, а ширина — 80 м. Ширина поля беговых дорожек лежала между 35 и 37 м. Средняя ширина трибун составляла 35 м. Трибуны поддерживались пятью (местами шестью) длинными продольными стенами толщиной от 1 до 1,5 м. Поперечные стены были короткими, но их толщина оказалась больше, чем у продольных стен. В центре северной трибуны находились особые стены, поддерживавшие, судя по всему, ложу для почетных гостей. Определилось на плане и место конюшен: они примыкали к одной из трибун и имели стену, выходившую на фасад стадиона.

Исходя из ширины трибун, можно подсчитать количество расположенных на них рядов. Зная длину периметра трибун, нетрудно получить полную длину всех рядов; она оказалась равной не менее 52, но не более 57 км. Если брать за норму, приходившуюся на одного зрителя, 40 см (эту цифру использовали при прежних расчетах вместимости стадиона), то полное количество мест должно заключаться в интервале от 130 до 143 тыс. Даже меньшая из этих цифр показывает, что стадион римского Карфагена превосходит по вместимости трибун современные спортивные сооружения. Сейчас, как известно, самые крупные стадионы — футбольные, однако и реконструи-

рованная к Олимпийским играм 1980 г. Большая спортивная арена московских Лужников, и знаменитая «Маракана» в Бразилии значительно уступают по количеству мест для зрителей карфагенскому исполниту.

План, составленный на основе геофизических данных, включает в себя и окрестности карфагенского стадиона. На расстоянии 26 м от его южного фасада проходила длинная и очень толстая стена, она тянулась параллельно главной оси арены. Толщина сохранившихся ее каменных фрагментов составляет 5 м. По всей вероятности, это остатки внешней крепостной стены города. Известно, что при императоре Феодосии I, в 425 г., Карфаген был обнесен новой укрепленной стеной.

Вблизи остатков крепостной стены встречаются бесформенные очертания находящихся под землей объектов; было похоже, что это кучи строительного мусора. Впоследствии, при археологическом зондировании, такое предположение подтвердилось. Более того, стало ясно, что строительным мусором, свозившимся сюда, вероятно, из разных районов Карфагена, засыпали ямы и мелкие овраги перед сооружением стадиона.

Сразу же по завершении геофизических исследований экспедиция провела небольшие раскопки на ряде участков территории карфагенского стадиона с выявленными аномалиями. Это были не раскопки в обычном понимании, а скорее пробное археологическое зондирование. Тем не менее, оно принесло немало ценных результатов. Удалось обнажить основания нескольких стен, а также уточнить их геометрические размеры, некоторые архитектурные детали и конструктивные особенности. В обломках окаменевшей обмазки нашли кусочки греческой мозаики. Это показывало, что при строительстве здесь использовали материал более ранних, уже снесенных зданий Карфагена. Уточнили время сооружения стадиона — начало II в. н. э. Следовательно, стадион просуществовал по крайней мере четыре столетия.

Большим разнообразием отличались монеты, встреченные при зондировании на различных глубинах. Среди них были монеты независимого Карфагена, римские монеты — времен республики и отчеканенные при нескольких императорах, византийские монеты. Обнаружили много глиняных черепков — фрагментов всевозможной посуды и керамических светильников, преимущественно I в. н. э. Были найдены осколки стекла, также относящиеся к I в. Особый интерес представляет залегающий на глубине около 2 м гвоздь, на 99% он состоит из меди. На глубине около 1,5 м в нескольких местах зондирования были раскопаны остатки каменной мостовой.

Разумеется, археологам еще многое придется сделать, чтобы изучить стадион Карфагена, остатки которого скрыты под землей. Стоит напомнить, что территория этого сооружения превышает 200 тыс. кв. м, и эффективные раскопки здесь мож-

но вести, лишь имея в руках точный план руин. Такой план теперь появился в результате геофизического картирования.

Магнитное картирование трипольского поселения. Трипольская культура была открыта еще в XIX в. Первая находка древнейшей стоянки была сделана у села Триполье Киевской области в 1896 г. Возникла эта культура в IV тысячелетии до нашей эры и просуществовала более тысячи лет (по уточненным данным, полученным с помощью радиоуглеродного метода, трипольская культура появилась в XXXVI в. и прекратила свое существование в XXV в. до н. э. [18]).

Районы распространения трипольской культуры охватывали территорию современной Украины и Молдавии, а также Румынии. Трипольские поселения располагались на возвышенностях, часто укреплялись валами и рвами. На ранней стадии развития культуры поселения состояли из 10—15 домов, а в период расцвета количество жилищ в поселениях доходило до нескольких сотен. Все дома были глинобитными, иногда двухэтажными. Типичный трипольский дом имел в плане прямоугольную форму, его общая площадь нередко превышала 100 кв. м. Характерным признаком жилищ являются многослойные плитчатые полы из глины. Часть дома, служившая для жилья, отапливалась печами и имела круглые окна. Другая часть дома использовалась под кладовые. Трипольские жилища в больших поселениях располагались по кругу или овалу, в ряде случаев таких кругов или овалов было несколько, они вписывались один в другой.

Основными занятиями трипольских племен были земледелие и скотоводство, значительное место в их жизни занимали также охота и рыболовство. При раскопках памятников трипольской культуры обнаружено много расписной керамической посуды, найдены различные орудия — для занятия сельским хозяйством, ткачеством, обработкой дерева, плетением, выделкой шкур.

Самые крупные поселения трипольской культуры были выявлены в процессе дешифрирования аэрофотоснимков. Так, в 1966 г. с помощью аэрофотосъемки на территории Черкасской области удалось обнаружить трипольские поселения площадью в несколько квадратных километров [18]. Ясно, что археологическому изучению столь обширных объектов должны предшествовать геофизические исследования, задача которых состоит прежде всего в картировании площади будущих раскопок, локализации остатков жилищ и прочих построек. Богатую информацию при картировании местности в археологических целях дает магнитная съемка, т. е. исследование магнитного поля в определенном районе.

При изучении магнитного поля Земли всегда и везде используют прямоугольную систему координат Ox , Oy , Oz , у которой первые две оси горизонтальны (ось Ox направлена на север,

ось Oy — на восток), а ось Oz вертикальна и направлена вниз (рис. 4). Полный вектор напряженности магнитного поля T в большинстве точек земной поверхности не совпадает ни с одной из осей. Вертикальную плоскость, проходящую через вектор T , называют плоскостью магнитного меридиана. Проекция вектора T на горизонтальную плоскость называется горизонтальной составляющей поля и обозначается H . Очевидно, H всегда располагается в плоскости магнитного меридиана; иногда вместо H рассматривают ее проекции на оси Ox и Oy , которые называют соответственно северной и восточной составляющими. Проекция вектора T на ось Oz называется вертикальной составляющей геомагнитного поля в данной точке. Для решения многих геофизических задач можно ограничиться измерениями величины вертикальной составляющей Z .

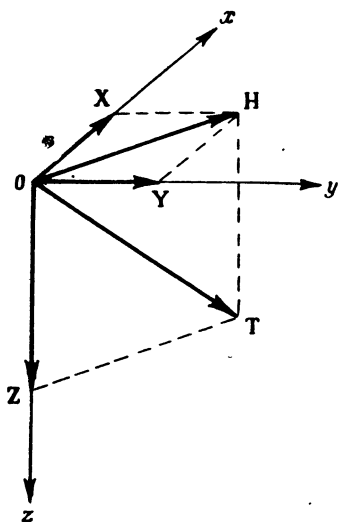


Рис. 4. Вектор полной напряженности геомагнитного поля T и его составляющие в прямоугольной системе координат.

Напряженность магнитного поля измеряется в эрстедах. При исследовании геомагнетизма названная единица оказывается слишком крупной, поэтому используют стотысячную долю эрстеда — гамму (γ). Современные приборы — магнитометры могут обнаружить очень небольшие вариации магнитного поля — порядка десятка гамм, что в тысячи раз меньше средней напряженности магнитного поля Земли.

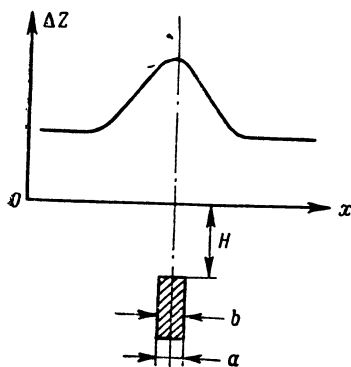


Рис. 5. Изменение вертикальной составляющей геомагнитного поля над фрагментом кирпичной стены, залегающим на глубине.

Изменения магнитного поля на земной поверхности — магнитные аномалии — часто обусловлены тем, что на определенной глубине находятся намагниченные тела. Намагниченными телами являются, например, скопление обожженной глины или фрагмент кирпичной стены. Если намагниченное тело имеет сечение прямоугольной формы (рис. 5), легко рассчитать изменение вертикальной составляющей магнитного поля над этим телом в зависи-

мости от значений a , b и H . В данном случае магнитная аномалия представляет собой приращение вертикальной составляющей поля, которое можно измерить магнитометром.

Среди различных по конструкции магнитометров наибольшее распространение получили приборы, предназначенные для определения изменений вертикальной составляющей магнитного поля, т. е. величины ΔZ . Эти изменения отсчитываются от величины геомагнитного поля в некоторой начальной точке изучаемого района, называемой опорной.

Чувствительный элемент приборов для измерения ΔZ — магнит-индикатор, укрепленный на натянутой горизонтальной металлической нити из особого сплава. Силы, вызванные действием магнитного поля в данной точке, поворачивают магнит-индикатор на определенный угол. При этом сказывается влияние лишь вертикальной составляющей поля, поскольку в процессе измерений следят за тем, чтобы ось вращения магнит-индикатора и его магнитная ось были строго горизонтальными.

В СССР выпускается несколько типов магнитометров для измерения величины ΔZ . В оптико-механических приборах М-18, М-23 и М-27 реализуется компенсационный способ измерений. Отклонившийся под действием сил исследуемого поля магнит-индикатор возвращают в исходное положение подбором величины компенсирующего поля двух специальных магнитов, меняя их ориентацию. По углам наклона компенсационных магнитов, фиксируемым на измерительной шкале прибора, судят об изменении вертикальной составляющей изучаемого поля. Из трех названных выше типов магнитометров М-27 отличается расширенным диапазоном измерений, а также наилучшими параметрами чувствительности и точности. Его применяют для выявления особенно слабых аномалий магнитного поля. Абсолютная погрешность измерений на магнитометре М-27 не превышает 3—5 гамм. Время измерения на одной точке — не более 1 мин.

Первое применение магнитной съемки в археологии было связано с поисками античных гончарных печей. Аномалия, создаваемая печью, обусловлена большой массой обожженной глины. Дело в том, что обожженная глина обладает так называемой термоостаточной намагниченностью. Горячая глина, остывая, всегда приобретает под влиянием магнитного поля Земли постоянную намагниченность. Даже у обыкновенного строительного кирпича имеется слабая намагниченность, которая способна немного отклонить стрелку вплотную поднесенного компаса.

Намагниченность обожженной глины объясняется присутствием в ней минералов железа: магнетита (Fe_3O_4) и гематита (Fe_2O_3). Эти минералы ферромагнитны, а каждый ферромагнетик состоит из доменов — очень малых участков, внутри которых намагниченность постоянна. При нагревании домены, как

миниатюрные магнетики, ориентируются по направлению внешнего магнитного поля и после остывания сохраняют занятое положение. В результате глиняный предмет после обжига можно рассматривать как слабый постоянный магнит.

Термонамагниченность обожженной глины зависит от содержания в ней магнетита (у гематита магнитные свойства выражены гораздо слабее). Если доведенная до температуры красного каления глина находится в магнитном поле Земли с напряженностью, равной 0,5 эрстеда, то удельная остаточная намагниченность глины после остывания заключается, как правило, в интервале от 0,00001 до 0,02 единицы СИ на грамм [21]. Меньшая цифра характерна для красных глин, богатых гематитом, а большая относится к серым глинам, в которых доминирует магнетит. Температура красного каления гарантирует глине максимальную намагниченность, но, в общем, любой нагрев вызывает термическое намагничивание.

Трипольские площадки, представляющие собой остатки древних жилищ, содержат много глины, иногда несколько тонн. Это связано со сравнительно большими размерами глинобитных жилищ, с наличием многослойных плитчатых полов из глины и, конечно, с тем, что в трипольских домах имелись печи. На поверхности, скрывающей следы поселений трипольской культуры, магнитное поле должно характеризоваться своеобразным рельефом, структура которого определяется аномалиями, вызванными площадками со значительными массами обожженной глины.

В 1973 и 1974 гг. В. П. Дудкин методом магнитной разведки провел детальное исследование крупного трипольского поселения. Это поселение, имеющее площадь свыше 2 кв. км, расположено на Украине, в Черкасской области, у села Майданецкое. Майданецкое поселение находится между рекой Тальнянкой, запруженной в настоящее время несколькими плотинами, и безымянным ручьем. Большая часть территории поселения занята полями, на которых выращивают различные сельскохозяйственные культуры. Почва в этих местах — черноземная, достигающая мощности 70 см. Под черноземом проходит желтый суглинок. Остатки трипольских жилищ, как показало археологическое зондирование, залегают в нижнем слое чернозема, в среднем на глубине 50—70 см от современной поверхности.

Основной целью геофизических исследований Майданецкого поселения было составление достоверного и достаточно подробного плана расположения древних жилищ на всей территории и детальное картирование отдельных участков для раскопок.

Магнитная съемка велась по квадратной сети, ячейка которой представляла квадрат со стороной в 4 м. Для измерений использовали оптико-механический магнитометр типа М-27. Результаты съемки сводили в карты графиков, показывающих изменение вертикальной составляющей магнитного поля ΔZ

вдоль параллельных профилей. Практически все выявленные аномалии соответствовали искомым объектам — трипольским площадкам. Величины аномалий, создаваемых площадками, лежали в интервале от 30 до 250 гамм. В пределах аномалий проводили добавочную магнитную съемку, при этом расстояние между соседними точками измерений равнялось 1 м. После такой детализации аномалий определяли контуры площадок, которые наносили на общий топографический план. Контроль точности оконтуривания осуществляли с помощью шурфов и небольших раскопов. Погрешность определения границ площадок не превышала 1 м при обычной сети съемки и 0,25 м при детальной съемке.

Всего на территории Майданецкого поселения по данным магнитной съемки выделили 1575 трипольских жилищ. Их расположение свидетельствовало о сложной планировке этого крупнейшего поселения. В северной части поселения плотность застройки значительно выше, чем в южной, где встречаются пустые участки общей площадью около 100 тыс. кв. м. На периферии поселения площадки выстроены по трем concentрическим овалам, в этом проявился характерный признак трипольского строительства. Следовательно, на Майданецком поселении были, по крайней мере две улицы, которые в отличие от современных улиц не имели ни начала, ни конца.

Центральная часть поселения была застроена также неравномерно. В центре прослеживается широкая незастроенная полоса, ограниченная с внутренней стороны четвертым concentрическим овалом, в котором площадки отделены небольшими интервалами. По-видимому, в этой зоне дома стояли почти вплотную друг к другу.

Несмотря на то, что опубликованные данные по интерпретации результатов магниторазведки Майданецкого поселения носят предварительный характер [6], полученные сведения представляют возможность проведения в дальнейшем эффективных археологических исследований. На изученной территории можно вести раскопки с минимальными затратами сил и средств. На геофизическую работу по оконтуриванию, локализации и определению размеров более 1,5 тыс. трипольских жилищ ушло всего два полевых сезона, в этой работе принимали участие только шесть человек. С помощью обычных археологических методов за один полевой сезон удастся исследовать в лучшем случае 20 трипольских площадок. Нетрудно подсчитать, что на изучение такого памятника, как Майданецкое поселение, без привлечения геофизиков потребовалось бы около ста лет* [6].

* В последние годы появились магнитометры, обладающие лучшими параметрами по сравнению с теми, которые использовались при картировании Майданецкого поселения. К таким приборам относится, в частности, магнитометр типа М-33.

Клад серебряных монет, найденный электронным металлоискателем. Электронные металлоискатели обладают очень высокой чувствительностью, с их помощью можно обнаружить совсем мелкие металлические предметы, залегающие в земле. Принцип действия металлоискателя основан на резкой зависимости параметров чувствительного элемента прибора от изменений электродинамических свойств исследуемой площади. Подобные приборы особенно эффективны при поиске объектов, у которых электропроводность значительно выше, чем у окружающей среды.

Наиболее перспективными являются импульсные металлоискатели. В импульсном режиме можно существенно увеличить мощность посылаемых прибором сигналов, что обеспечивает расширение зоны поиска. Последнее обстоятельство важно для археологов, поскольку с ним связано увеличение глубинности исследований.

Импульсные приборы снабжены генератором высокочастотных сигналов, которые, попав в объект с повышенной проводимостью, создают в нем вихревые токи. Эти токи образуют вторичное электромагнитное поле, регистрируемое в приемном блоке металлоискателя.

В течение ряда лет Всесоюзный научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) организует археофизические экспедиции, которые изучают возможность применения электронных металлоискателей на различных археологических памятниках. В 1975 г. сотрудники ВНИИФТРИ С. И. Вахрушин, Ю. Г. Кулешов и А. К. Станюкович нашли вблизи деревни Гнездово Смоленской области клад серебряных монет, возраст которых составлял тысячу лет. Клад был обнаружен с помощью импульсного прибора. Серебро, как известно, обладает очень высокой электропроводностью, сигнал даже от одной монеты можно зарегистрировать.

Рядом с Гнездовым раскопаны остатки древнего поселения, его территория распахана. При вспашке местные жители встретили несколько старинных монет. Археологи определили, что это серебряные дирхемы времен Саманидов, т. е. персидские монеты X в. Некоторая часть монет поступила в Эрмитаж, другая — в Смоленский краеведческий музей. Однако археологи были уверены, что основная часть клада еще не найдена. Из-за многократной распашки Гнездовского поселения монеты могли распространиться по обширной площади; вероятнее всего, нужно было искать их по одной или небольшими группами. Для этого и требовался чувствительный металлоискатель.

Работу с металлоискателем начали прямо на пашне. Медленно проходили метр за метром, следя за показаниями прибора. Время от времени индикатор фиксировал появление сигналов, но они распространялись от лежавших в земле или на

поверхности железных предметов. В одном месте прибор уловил довольно сильный сигнал. Здесь нашли сразу три монеты, очень близко друг от друга, глубина их залегания не превышала 5 см. Это свидетельствовало о том, что обнаружена основная зона рассеяния монет.

На месте находки стали копать шурф, который вскоре дал новые дирхемы. Когда шурф достиг солидных размеров, решили проверить, нет ли монет в отвале. Контроль металлоискателем показал, что несмотря на тщательный просмотр вынимаемой земли, в отвал попало шесть дирхемов. Поэтому начали проверять прибором каждый снимаемый пласт. По мере дальнейшей проходки шурфа снова и снова встречались монеты, а в отвале за несколько дней работы оказался всего один дирхем. Параллельно вели очистку окрестностей шурфа от железных предметов, преимущественно современного происхождения. Это позволило измерять довольно слабые сигналы от монет, залегавших на больших глубинах. В итоге собрали 71 монету. По-видимому, древний клад был изъят полностью [3].

Возраст находок — по радиоактивным «долгожителям» и палеомагнетизму

Невозможно представить себе исторические изыскания без решения вопроса о датировании объектов исследования. Любая находка, сделанная археологом, требует определения возраста. Иногда достаточно ограничиться относительной датировкой, однако значительно большую научную ценность имеет установление абсолютного возраста. Абсолютное датирование позволяет сопоставить уровни развития пространственно разобщенных цивилизаций, выявить факторы влияния одной культуры на другую, уяснить роль связей между различными формами общественного уклада. Легко понять важность определения абсолютного возраста в тех случаях, когда нельзя использовать археологическую датировку по памятникам письменности, монетам, произведениям искусства или особенностям быта людей, живших в далеком прошлом.

Наиболее точные оценки абсолютного возраста дают изотопные методы. Их называют также методами ядерной геохронологии, поскольку главная область применения этих методов связана с определением возраста горных пород и минералов. Ядерная геохронология использует явление радиоактивного распада ядер и обусловленного им превращения одних элементов в другие. Скорость радиоактивного распада у каждого изотопа строго постоянна и была таковой во все геологические эпохи, она не зависит от внешних условий (давления, темпе-

ратуры и т. п.); на этом основании показания ядерных «хронометров» могут считаться весьма надежными.

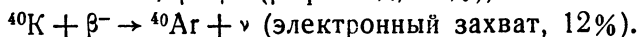
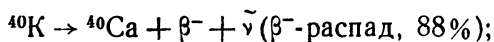
В настоящее время для датирования геологических объектов применяют целый ряд изотопных методов. Некоторые из них успешно зарекомендовали себя в археологии, палеоэтнографии, палеоантропологии. Для определения возраста вулканических или осадочных отложений, среди которых залегают, например, остатки стоянки первобытного человека, ядерно-хронологические методы используются в том же виде, что и для решения чисто геологических задач.

Пригодность того или иного изотопного метода зависит от времени существования объекта исследования. При изучении событий, отстоящих от наших дней примерно на миллион лет, нужно применять датирование по радиоактивным изотопам с большими периодами полураспада. К радиоактивным «долгожителям» относятся изотопы урана, а также один из изотопов калия.

Помимо изотопных методов в археологии используют и другие физические методы определения возраста, в числе которых — палеомагнитный. Горные породы, образованные в прошлые геологические эпохи, намагнитились под действием существовавшего в те времена магнитного поля Земли и сохранили приобретенную (остаточную) намагнитченность. Особое значение имеет направление остаточной намагнитченности. Дело в том, что через некоторые интервалы времени (довольно длительные) магнитное поле Земли меняло свою полярность. Таким образом, измерение остаточной намагнитченности горных пород предоставляет геохронологическую информацию.

Ниже рассказывается о датировании событий, относящихся к начальному периоду истории человечества. Определение абсолютного возраста стоянок первобытного человека и других следов, оставленных древнейшими людьми, не простая задача. Ее решение опирается на использование особенностей распада долгоживущих изотопов калия (калий-аргоновое датирование) и урана (датирование по трекам спонтанного деления), а также на явление палеомагнетизма. Поэтому нам кажется целесообразным начать изложение с рассмотрения названных методов.

Основы ядерно-физических методов датирования. При калий-аргоновом датировании используется радиоизотоп ^{40}K , среднее содержание которого в естественной смеси изотопов калия равно 0,012%. Распад этого изотопа происходит двумя путями:



Период полураспада ^{40}K равен $1,32 \cdot 10^9$ лет; эта величина характеризует убыль радиоактивного изотопа калия вследствие обоих превращений.

Распад калия с образованием кальция (β -превращение, в результате которого получается изотоп ^{40}Ca) не используется для определения абсолютного возраста, так как в калийсодержащих минералах обычно присутствует нерадиогенный ^{40}Ca , вклад которого не поддается точному учету. Электронный захват (второй путь распада ^{40}K) приводит к образованию изотопа ^{40}Ar , который и используется в калий-аргоновом методе датирования.

Долю атомов ^{40}K , превращающихся в ^{40}Ar , можно подсчитать из соотношения между постоянными распада λ_β (вероятность β -распада) и λ_e (вероятность электронного захвата):

$$^{40}\text{Ar}/(^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}) = \lambda_e/(\lambda_e + \lambda_\beta).$$

Современное количество ^{40}K в исследуемом образце определяется формулой

$$^{40}\text{K} = ^{40}\text{K}_0 e^{-(\lambda_e + \lambda_\beta) t},$$

где $^{40}\text{K}_0$ — количество радиоактивного калия в момент образования минерала, а t — абсолютный возраст минерала.

Суммарное количество радиогенных изотопов ^{40}Ar и ^{40}Ca , появившихся за время t , равно

$$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca} = ^{40}\text{K}_0 - ^{40}\text{K} = ^{40}\text{K} [e^{(\lambda_e + \lambda_\beta) t} - 1].$$

С другой стороны, из соотношения между постоянными распада λ_β и λ_e вытекает, что

$$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca} = ^{40}\text{Ar} [(\lambda_e + \lambda_\beta)/\lambda_e].$$

Сравнивая два последних уравнения, легко установить связь между изотопами ^{40}Ar и ^{40}K в образце:

$$^{40}\text{Ar} = ^{40}\text{K} [\lambda_e/(\lambda_e + \lambda_\beta)] [e^{(\lambda_e + \lambda_\beta) t} - 1].$$

Отсюда получается формула для определения возраста:

$$t = \{\ln [1 + ^{40}\text{Ar} (1 + \lambda_\beta/\lambda_e)/^{40}\text{K}]\}/(\lambda_e + \lambda_\beta).$$

Датирование по трекам спонтанного деления урана основано на том, что оба изотопа урана — как ^{238}U , так и ^{235}U — подвержены самопроизвольному делению, в результате которого ядро распадается на два осколка и испускается несколько нейтронов. Однако периоды полураспада изотопов ^{238}U и ^{235}U относительно спонтанного деления резко различны: $5,9 \cdot 10^{15}$ лет у первого и $1,8 \cdot 10^{17}$ лет у второго. Вклад изотопа ^{238}U в образование осколков деления настолько доминирует, что ролью ^{235}U можно пренебречь (помимо большего периода спонтанного деления ^{235}U имеет меньшее содержание в природном уране).

Вследствие кулоновского отталкивания возникшие в результате спонтанного деления осколки разлетаются в противоположные стороны с большой энергией. При торможении осколков в веществе минерала эта энергия передается атомам, что

приводит к появлению зон радиационных нарушений. Плотность радиационных нарушений очень велика; осколки «выжигают» в теле минерала цилиндрические полости, фиксирующие их пробеги (треки). Длина таких треков равна 10—15 микрометрам. Если минерал содержит на миллион собственных атомов один примесный атом урана, то за каждые 10 тыс. лет через площадку в 1 кв. см внутри минерала пройдет примерно 20 осколков спонтанного деления.

Треки, образованные осколками, легко сделать видимыми в обычном микроскопе. Для этого достаточно протравить исследуемый образец в кислоте несколько минут. При травлении минерал в зоне радиационного нарушения растворяется, возникают полости, доступные наблюдению. Подсчитав плотность треков и зная содержание урана в образце, можно определить возраст минерала.

Со временем количество изотопа ^{238}U уменьшается в результате процессов альфа-распада и спонтанного деления:

$$^{238}\text{U} = ^{238}\text{U}_0 \cdot e^{-(\lambda_\alpha + \lambda_s) t},$$

где λ_α и λ_s — соответственно константы α -распада и спонтанного деления; ^{238}U — количество ядер изотопа в настоящее время.

Поскольку α -распад является значительно более вероятным процессом по сравнению со спонтанным делением, то $\lambda_\alpha \gg \lambda_s$, и можно использовать приближенное выражение

$$^{238}\text{U} \simeq ^{238}\text{U}_0 \cdot e^{-\lambda_\alpha t}.$$

Накопление осколков — продуктов спонтанного деления — связано с накоплением продуктов α -распада:

$$N_s = \lambda_s N_\alpha / \lambda_\alpha,$$

которое идет в соответствии с основным законом радиоактивности:

$$N_\alpha = ^{238}\text{U}_0 (1 - e^{-\lambda_\alpha t}) = ^{238}\text{U} (e^{\lambda_\alpha t} - 1).$$

Таким образом, число актов спонтанного деления за время t равно

$$N_s = (\lambda_s / \lambda_\alpha) ^{238}\text{U} (e^{\lambda_\alpha t} - 1).$$

Отсюда получается формула для расчета возраста минерала:

$$t = (1/\lambda_\alpha) \ln [(N_s / ^{238}\text{U}) \cdot (\lambda_\alpha / \lambda_s) + 1].$$

Бесспорным достоинством этого метода является отсутствие фона — практически не существует источников, оставляющих в минерале треки, которые могли бы быть ошибочно приняты за треки спонтанного деления изотопа ^{238}U . К преимуществам метода относятся также его простота и возможность исполь-

зования очень малых образцов минералов или вулканических стекол.

Палеомагнитное датирование базируется на том, что земное магнитное поле не оставалось одним и тем же в разные геологические эпохи. Время от времени магнитное поле Земли меняло свое направление на противоположное — происходила так называемая инверсия геомагнитного поля. В соответствии с этим различают эпохи нормальной и обратной полярности. В эпохи нормальной полярности Южный магнитный полюс планеты находится вблизи Северного географического полюса, а в эпохи обратной полярности — в окрестности Южного географического полюса.

История магнитного поля Земли «записана» в горных породах. «Окаменелый» магнетизм характеризует древнее геомагнитное поле и вместе с тем указывает на время формирования породы. Опыт палеомагнитных исследований свидетельствует, что существует обширный класс горных пород, остаточная намагниченность которых сохранилась почти в первозданном виде. Если исследовать разрез толщи осадочных или вулканических пород, можно зафиксировать точки смены направления остаточной намагниченности, а по ним расчленить всю толщу, определить последовательность отдельных этапов ее образования.

По результатам детального изучения геологических разрезов в различных регионах земного шара составлена абсолютная палеомагнитная геохронологическая шкала для последних 4,5 млн. лет. Сравнение палеомагнитных характеристик пород и значений их абсолютного возраста, полученных с помощью калий-аргонового датирования, дало шкале надежный временной масштаб (рис. 6).

Последние 4,5 млн. лет геологической истории Земли разделяют сейчас на четыре палеомагнитные эпохи, названные в честь ученых, внесших большой вклад в изучение земного магнетизма. Современная эпоха — Брюнеса — характеризуется нормальным направлением намагниченности, она началась 690 тыс. лет назад. Ей предшествовала эпоха обратной полярности — Матуяма, ее начало относится к 2,43 млн. лет назад. Третья эпоха — Гаусса — снова нормальная (3,32—2,43 млн. лет назад), а четвертая — Гильберта — опять обратная (4,5—3,32 млн. лет назад). Следует, однако, помнить, что в пределах каждой эпохи имели место кратковременные смены полярности геомагнитного поля (их называют инверсиями или событиями). Например, в эпоху Гаусса произошли два таких события: Кайенна и Маммот, именуемые по географическим названиям мест, где эти события были открыты. Каждое из них длилось приблизительно 100 тыс. лет.

Для археологии важное значение имеет переход от нормальной эпохи Брюнеса к обратной Матуяма, на рубеже 690 тыс.

лет назад. По нему удалось датировать древнейшие стоянки первобытного человека на территории СССР.

Были ли питекантроп и синантроп древнейшими людьми? Еще недавно самыми древними людьми на Земле считали питекантропов, синантропов, так называемого гейдельбергского человека. Первый питекантроп был открыт в конце XIX в. Молодой голландский ученый Э. Дюбуа решил отыскать предсказанную немецким зоологом Эрнстом Геккелем человекообезьяну (слово «питекантроп» и означает «человекообезьяна»). Другой немецкий естествоиспытатель Рудольф Вирхов указал наиболее вероятное место такой находки — Малайский архипелаг. В качестве врача Дюбуа поехал на остров Яву, где все свободное время посвятил раскопкам.

При исследовании аллювиальных отложений местности Триниль на прибрежном откосе небольшой речки в слое вулканического пепла Дюбуа нашел фрагмент нижней челюсти, которая, похоже, принадлежала когда-то переходному между обезьяной и человеком существу. Это случилось в 1890 г., в следующем году были обнаружены крышка черепа и коренной зуб, еще через год — бедренная кость и новый зуб. Особое значение имели бедренная кость и часть черепа. Первая поч-

ти не отличалась от бедренной кости современного человека, что позволило приписать питекантропу безусловное прямохождение. Дюбуа дал ему новое видовое наименование — питекантроп эректус («прямоходящий»). Удалось определить емкость мозго-

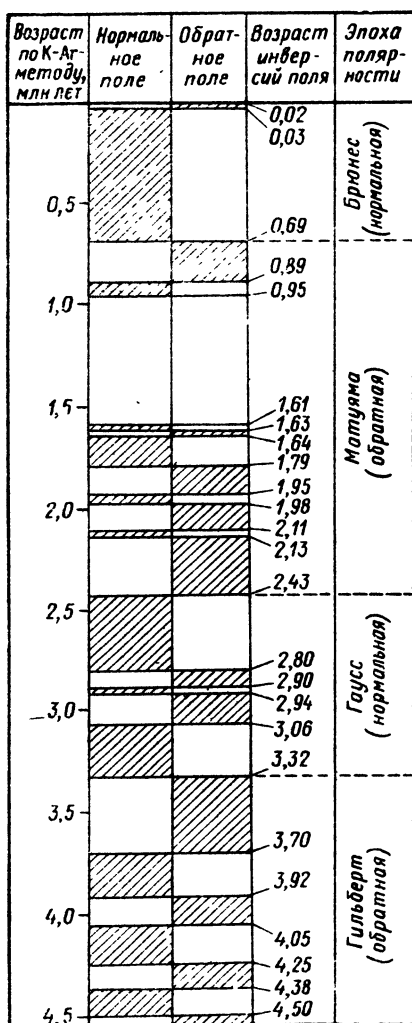


Рис. 6. Абсолютная палеомагнитная геохронологическая шкала для последних 4,5 млн. лет.

вой коробки — около 900 куб. см, это намного больше объема мозга гориллы или орангутанга, который обычно не превышает 600 куб. см. Вместе с тем череп питекантропа был низким, с угловатым затылком и сильно развитым надглазничным валиком.

Впоследствии на Яве было найдено еще несколько ископаемых остатков питекантропов. В период с 1936 по 1941 г. в местности Сангиран Г. Кёнигсвальд обнаружил фрагменты трех черепов и обломки разных челюстей. К настоящему времени найдены кости свыше 20 особей, по их совокупности реконструирована внешность питекантропа (рис. 7).



Рис. 7. Череп и реконструированная на его основе внешность яванского питекантропа. По данным калий-аргонового датирования питекантропы жили 550 тыс. лет назад [70].

Абсолютный возраст питекантропа долго не удавалось установить. Более того, высказывались сомнения в ценности открытия Дюбуа. Многие полагали, что черепная крышка принадлежит ископаемой человекообразной обезьяне, а бедренная кость — современному человеку. Эти сомнения были рассеяны голландцами Р. Бергманом и П. Карстеном, которые показали, что все находки Дюбуа содержат одно и то же количество фтора и, следовательно, являются одновозрастными (известно, что со временем содержание этого элемента в костях, погребенных в земле, неуклонно повышается). Возраст же геологических отложений, вмещавших находки, оставался предметом дискуссий.

Г. Кёнигсвальд применил для определения возраста три-

нильских отложений на Яве калий-аргоновый метод. В 1961 г. в Институте ядерной физики в Гейдельберге были исследованы образцы особой разновидности вулканической породы, залегающей в указанных отложениях, — лейцито-базальта. Кроме того, изучались так называемые тектиты — небольшие округлые тела из стекла, происхождение которых не было установлено (сейчас появились основания утверждать, что тектиты возникли в результате мощного взрыва над Землей огромного метеорита, при котором горные породы частично расплавились и образовалась необычная форма стекла). На Яве тектиты были обнаружены еще в 1934 г., причем на том же уровне геологического разреза, что и остатки питекантропа. Анализ на калий и аргон была подвергнута целая коллекция яванских тектитов — 24 образца.

Возрастные оценки, полученные в Гейдельберге по разным объектам, в общем, совпали: для образцов лейцито-базальта установлены значения от 435 до 595 тыс. лет, для образцов тектитов — от 510 до 690 тыс. лет. На первый взгляд, эти цифры говорят о том, что тектиты несколько старше вулканической породы, но после учета погрешностей эксперимента расхождение становится статистически недостоверным. Усреднив все данные, Кёнигсвальд вывел абсолютный возраст питекантропа — 550 тыс. лет [8].

Синантроп был открыт через 30 лет после питекантропа. Однажды канадскому профессору Д. Блэку, преподававшему в Пекинском медицинском институте, принесли странный зуб, напоминавший человеческий, но более крупный. Зуб был найден в пещере вблизи селения Чжоукоудянь, в 45 км от Пекина. Оказалось, что местные жители уже давно посещали эту пещеру, отыскивали там ископаемые кости и продавали знахарям, которые кости размалывали, растирали в порошок и добавляли в зелье, обладавшее якобы целебными свойствами. Блэк получил от китайских властей разрешение на раскопки и стал производить их вместе с шведским геологом Б. Болиным. За несколько лет было найдено много костей, несомненно принадлежавших древнейшему человеку.

Начатое дело продолжил Фрауц фон Вайденрейх. После изучения десятка с лишним черепов, полутора сотен зубов, нескольких бедренных и плечевых костей он дал открытому существу новое имя — синантроп пекинский. Позже синантропа и питекантропа стали связывать с одним и тем же видом древнего человека — гомо эректус. Действительно, дальнейшие исследования подтверждали их антропологическое сходство, правда, у синантропа был несколько больший объем черепа — около 1040 куб. см.

Вместе с костными остатками синантропов было обнаружено множество раннепалеолитических орудий, в основном грубо обработанных рубил — так называемых чопперов, изготовлен-

ных из кварцита, песчаника и роговика. Кроме каменных орудий были найдены довольно мощные прослойки 'зола, представляющие собой остатки древнейших кострищ и очагов, и обожженные кости животных (пещерного медведя, гигантского оленя). Это свидетельствовало о том, что синантропы пользовались огнем.

Абсолютный возраст синантропа был установлен К. Окли. В 1962 г. он опубликовал статью, в которой излагались результаты калий-аргонового анализа геологических образцов, отобранных из слоев, содержащих скелетные остатки [69]. Исследование показало, что синантроп жил приблизительно 400 тыс. лет назад. В сентябре 1981 г. на Международной конференции в Бристоле ученый из КНР Гуо Шилунь сообщил, что в Пекинском институте атомной энергии была проведена специальная работа по датированию синантропа посредством изучения треков спонтанного деления урана, содержащегося в вулканических стеклах, которые залегали вместе с ископаемыми костями. Полученное значение возраста составило 462 ± 45 тыс. лет. С учетом погрешности измерений это хорошо согласуется с величиной, которую дал ранее калий-аргоновый метод.

Термин «гейдельбергский человек» относится к геологически наиболее древней находке в Европе. В 1907 г. немецкий антрополог О. Шётензак в песчаном карьере близ деревни Мауэр, расположенной в 10 км от Гейдельберга, обнаружил нижнюю человеческую челюсть на глубине 24 м. Она залегала вместе с костными остатками теплолюбивых животных: этрусского носорога, древнего слона, бизона и льва. Там же было найдено и множество обломков кремня, некоторые из них несут на себе следы примитивной искусственной обработки и могут рассматриваться как орудия. Большинство ученых считают, что по антропологическим признакам гейдельбергский человек сходен как с питекантропом, так и с синантропом.

Датирование песка, в котором была обнаружена гейдельбергская челюсть, проводилось одновременно с определением возраста синантропа и описано в уже упоминавшейся статье К. Окли [69]. Калий-аргоновый метод дал практически те же результаты, что и для синантропа, — 400 тыс. лет.

Таким образом, временные интервалы, на протяжении которых существовали питекантропы, синантропы и люди типа гейдельбергских, по-видимому, были почти синхронными. Эти интервалы приходятся на довольно длительное потепление земного климата, называемое миндель-рисским межледниковьем. Сейчас установлено, что миндельское оледенение закончилось на Земле около 700 или 600 тыс. лет назад, а следующее за ним рисское оледенение наступило примерно 350 тыс. лет назад.

Ядерно-физическое датирование существенно «омолодило» питекантропа, синантропа, гейдельбергского человека. Ранее их древность оценивалась, грубо говоря, в 1 млн. лет, однако эту

цифру пришлось сократить в два раза. Но фактически одновременно, на рубеже 50-х и 60-х годов, были сделаны открытия, из которых следовало, что род *Homo* все-таки значительно старше 1 млн. лет. В 1961 г. после исследования одного из ископаемых представителей этого рода была опубликована дата, ставшая сенсационной, — 1 млн. 750 тыс. лет!

Человеку из Олдувейского ущелья около 2 млн. лет. В северной части Танзании, неподалеку от древнего вулкана Нгоронгоро, протянулось каньонообразное ущелье Олдувей. На расстоянии 40 км оно вскрывает мощную, в несколько десятков метров, толщу озерных отложений. В этих отложениях запечатлены следы прошлых извержений Нгоронгоро, они содержат многочисленные прослои вулканических туфов и пеплов.

С начала нынешнего века Олдувейское ущелье привлекало к себе внимание палеонтологов и археологов. В 1911 г. здесь были найдены разнообразные кости вымерших млекопитающих. С 1931 г. в Олдудее приступил к работе Луис Лики, выдающийся английский антрополог и археолог. В результате детальных раскопок он выделил в осадочно-вулканогенной толще ущелья пять стратиграфических горизонтов. Первый (нижний) слой имеет переменную мощность — от 6 до 30 м — и лежит на застывшем потоке базальтовой лавы. В этом слое были встречены в высшей степени грубые и примитивные орудия — отщепы из кварцита и базальта. На одной из сторон отщепов, как правило, различались следы, оставленные искусственным скалыванием. Найденные орудия были подробно описаны, в литературе появился термин «олдувейская культура». Луис Лики дал приблизительную оценку возраста олдувейской культуры — средний плейстоцен. Иными словами, стали считать, что находкам не более 300 тыс. лет. Как выяснилось позже, ошибка была немалой — почти на 1,5 млн. лет.

Летом 1959 г. Луис Лики и его жена Мэри вели новые раскопки в Олдувейском ущелье. Как и прежде, они занимались изучением первого слоя. На глубине 6,5 м от верхней границы этого слоя, вблизи его базальтового основания, был найден почти полный череп существа, который отличался целым рядом необычных признаков. Череп принадлежал мужчине, сравнительно молодому, на это указывали не сильно стертые коренные зубы. Изучив череп, английский антрополог пришел к выводу о том, что его морфологические особенности выходят за пределы вариаций, характерные для известных древнейших представителей семейства гоминид, например питекантропа и синантропа. Можно было утверждать существование в очень далеком прошлом самостоятельного вида первобытного человека. Лики назвал его зинджантропом. Название должно было подчеркнуть место новой находки, когда-то страной Зиндж именовали всю Восточную Африку.

В непосредственной близости от черепа были найдены при-

митивно сделанные каменные рубила и кости различных животных, многие из них были расщеплены или разбиты с помощью орудий. По ископаемым остаткам было видно, что зинджантроп питался мясом мелких и крупных животных: антилоп и змей, птиц и черепах. Состав фауны позволил Лики дать новую, весьма приближенную оценку возраста находки. Если раньше первый слой относили к среднему плейстоцену, то теперь появилась возможность существенно «удревнить» его. В своем сообщении о зинджантропе Луис Лики предположил, что первый слой следует датировать верхней половиной виллафранка. Это означало, что возраст зинджантропа мог оказаться больше миллиона лет. Точных данных, однако, не было.

Датировать череп, найденный в Олдувейском ущелье, с помощью абсолютной геохронологии нужно было не только для того, чтобы ответить на вопрос: «Можно ли действительно поставить зинджантропа ранее других известных первобытных людей на временной шкале эволюции человека?». Совсем уж необычная особенность олдувейской находки состояла в том, что череп зинджантропа лежал... на «полу». Под черепом был кусок вулканической лавы, к нему примыкал еще один, вокруг—еще и еще. Выяснилось, что несколько сотен кусков лавы образуют своего рода вымостку, охватывающую площадь почти в 20 кв. м. Было очень похоже, что это остатки самого древнего из когда-либо увиденных современными людьми человеческого жилища. Вряд ли оно было жилищем в полном смысле слова. По мнению Мэри Лики, куски лавы служили опорой для шестов, на которых укреплялись шкуры животных. Получались щиты, защищавшие от ветра. Конечно, узнать возраст этого «сооружения» представлялось необходимым.

Супруги Лики продолжали раскопки в Олдувейском ущелье. Первый слой оказался «урожайным». В 1960 г. Л. Лики нашел остатки еще одной взрослой особи: фрагмент нижней челюсти, две теменные кости, ключицу, части кисти и стопы. Все это залегало на 60 см ниже уровня, на котором годом раньше был обнаружен череп зинджантропа. Как и в предыдущем случае, ископаемые кости соседствовали с грубыми каменными орудиями олдувейской (галечной) культуры. Особый интерес среди новых находок вызывали остатки черепа, объем его мозга, по-видимому, был больше, чем у зинджантропа.

В процессе дальнейших раскопок, в 1962 и 1963 гг., супруги Лики нашли очередную серию скелетных остатков, в частности неполный юношеский череп с обеими челюстями и почти всеми зубами, а за ним еще два черепа. Фотография одного из этих черепов изображена на рис. 8. Становилось все более очевидным, что вновь открытое существо ближе к современному человеку, чем зинджантроп. Проф. П. Тобиасу из университета в Иоганнесбурге, анатому по специальности, удалось провести измерения емкости мозговой коробки, они дали среднее значение

677 куб. см. Впоследствии Тобиас счел необходимым уменьшить эту цифру до 652 куб. см, но и она говорила в пользу явного отличия от зинджантропа.

Новый представитель семейства гоминид получил название презинджантроп, т. е. предшественник зинджантропа. Затем ему было присвоено другое наименование — гомо хабилис («человек умелый»). В этом названии отразился факт обработки каменных орудий галечной культуры, создателем которой был гомо хабилис. Главные среди множества таких орудий — чопперы, т. е. грубые рубила, изготовленные из галек, на которых можно различить не сколько, иногда не менее 5—6 ударов.

Луис Лики пришел к мнению, что в Восточной Африке параллельно развивались две ветви гоминид. Одна из них (гомо хабилис) была ветвью предков человека, а другая (зинджантроп) угасла, оказавшись в «тупике» эволюции. По сопутствующей фауне можно предполагать, что этот процесс начался в период верхнего виллафранка и продолжался до нижней части среднего плейстоцена. Именно гомо хабилис, по всей вероятности, умел делать орудия из камня, а зинджантроп их использовал или же сам становился охотничьей добычей. Ни гомо хабилис, ни зинджантроп, по-видимому, еще не знали огня — следы костров в Олдувейском ущелье обнаружены не были.

Поскольку основные находки Олдувея приурочены к нижнему слою осадочно-вулканогенных отложений, и представлялось необходимым определить абсолютный возраст первого пласта. Было решено применить калий-аргоновый метод датирования, для чего в течение двух полевых сезонов отыскива-



Рис. 8. Череп олдувейского человека, найденный Луисом и Мэри Лики. Его абсолютный возраст, согласно изотопному датированию, 1 млн. 750 тыс. лет [20].

лись места для отбора представительных образцов. Предварительные исследования показали, что в олдувейских отложениях много чисто вулканических образований, полностью лишенных какого бы то ни было «унаследованного» (т. е. более древнего) материала и потому вполне пригодных для калий-аргонового датирования. Отбор образцов был ответственным делом, потребовавшим включения в состав экспедиции геологов и геофизиков. Существенную помощь археологам и антропологам оказали сотрудники геологического факультета Калифорнийского университета американцы Дж. Эвериден и Г. Кёртис. Они же, возвратившись в США, провели анализ собранных материалов.

Ископаемые остатки гоминид и животных, а также каменные орудия располагались главным образом в нижней части первого слоя, не выше 3—4 м от уровня базальтового основания. Верхняя часть первого слоя почти не содержала археологических находок. Образцы, предназначенные для датирования, представляли как нижнюю, так и верхнюю часть этого слоя, последняя, очевидно, должна была оказаться более «молодой». Подавляющая часть образцов была отобрана непосредственно вблизи мест находок костей и орудий, а для контроля были взяты образцы на значительном удалении от них, но с тех же горизонтов. Кроме того, несколько образцов представляли второй слой, они должны были служить для оценки промежутка времени, прошедшего между образованием двух нижних слоев осадочных отложений в Олдувейском ущелье. Наконец, один образец был взят из застывшего потока базальтовой лавы, лежащего под первым слоем, и должен был дать максимальное значение абсолютного возраста. Он анализировался не в США, а в ФРГ, в Институте ядерной физики Гейдельберга.

Определение возраста нижней части первого слоя велось по разновидности калиевого полевого шпата — анортоклазу. Из образцов туфов удалось выделить довольно много кристаллов этого минерала, каждый раз на анализ направлялось не менее 6—8 г. Возраст верхней части слоя оценивался по другим минералам, выбранным из раздробленных образцов туфов, — по биотиту и олигоклазу. Содержания калия во всех анализировавшихся минералах были значительными — от 2 до 8%, это снижало возможные ошибки измерений.

По данным, полученным в Калифорнийском университете, возраст нижней части первого слоя оказался заключенным в интервале от 1 млн. 890 тыс. до 1 млн. 570 тыс. лет, а верхней части этого слоя — в интервале от 1 млн. 380 тыс. до 1 млн. 20 тыс. лет [58]. Средняя цифра для горизонта, скрывавшего остатки олдувейского человека, получилась равной 1 млн. 750 тыс. лет. Она достаточно хорошо согласовывалась с датиров-

кой того же стратиграфического уровня, но для места, расположенного в нескольких километрах от находки, — 1 млн. 630 тыс. лет. Для возраста вышележащего второго слоя было получено значение 360 тыс. лет. Почти одновременно с сообщением об этих результатах пришло известие из Гейдельберга: возраст базальтового основания оказался равным не менее 1 млн. 200 тыс., но и не более 1 млн. 400 тыс. лет [57].

Публикация всех этих цифр вызвала широкую дискуссию. Отмечали два сомнительных обстоятельства в полученных данных. Во-первых, выходило, что базальт будто бы моложе покрывающих его туфов. Во-вторых, промежуток времени между образованием первого и второго слоев оказался слишком большим.

В связи с тем, что оценки возраста базальта и второго слоя выводились из анализа единичных образцов, нужны были повторные измерения. Кроме того, выяснилась непригодность образца, исследовавшегося в Гейдельберге. Он был взят из обнаженной стенки разреза Олдувейского ущелья, где из-за выветривания часть аргона в минералах туфа могла улетучиться, а это должно было привести к занижению истинного абсолютного возраста.

Повторные опыты в лаборатории Калифорнийского университета устранили возникшие сомнения. Базальтовый фундамент оказался действительно старше самого нижнего слоя осадочных отложений ущелья: анализ на калий и аргон новых образцов обнаружил, что лавовый поток застыл 1 млн. 800 тыс. лет тому назад [30]. Была выявлена ошибка и в определении возраста второго слоя; новая датировка дала значение 490 тыс. лет, поэтому отпал вопрос о чрезмерно большом временном разрыве между первым и вторым слоями.

Таким образом, уникальная древность гомо хабилис, или олдувейского человека, была установлена. В 1965 г. в печати появилось подтверждение ранее полученной цифры — 1 млн. 750 тыс. лет. Важно, что оно основывалось на независимом способе датирования — методе треков спонтанного деления урана.

Датирование первого слоя Олдувейского ущелья методом треков было проведено в одной из научно-исследовательских лабораторий компании «Дженерал электрик» Р. Флейшером, П. Прайсом и Р. Уокером [36]. Образцы туфа, взятые из различных мест этого слоя, дробились так, чтобы средний размер частиц составлял примерно 0,2 мм. Из раздробленных образцов извлекали кристаллики двух минералов: анортоклаза и авгита, а также кусочки пористого вулканического стекла — пемзы. Выяснилось, однако, что анортоклаз не годился для датирования по методу треков, поскольку в нем всего лишь несколько сотысячных долей процента урана. В авгите урана было в десятки раз больше, но и его пришлось забраковать—

практически все кристаллики авгита были дефектными, в них содержалось много микротрещин, а последние можно принять за треки от осколков, возникающих при делении. Для анализа оставалась лишь пемза, содержание урана в ней составляло примерно одну десятитысячную долю процента, этого могло хватить; правда, плотность треков была низкой, и на их поиски под микроскопом требовались долгие часы. Но была другая трудность, более существенная, — сильно мешала пористость пемзы. При травлении в кислоте стекло на поверхности пор растворялось, поэтому эффективная площадь, на которой наблюдаются треки и которая учитывается в расчетах, может значительно сократиться между первым просмотром (когда наблюдаются только треки спонтанного деления) и вторым (когда подсчитываются треки вынужденного деления урана).

Методические трудности, возникшие при исследовании образцов вулканического стекла из туфов Олдувейского ущелья, были преодолены с поистине ювелирной тщательностью. Кусочки пемзы с поперечником не более 0,2 мм. вставлялись в пластмассовую оправу и шлифовались. В результате первого просмотра под микроскопом, после начального травления, было найдено около сотни треков спонтанного деления. Каждый из этих треков сфотографировали, а его положение зафиксировали с помощью координатного столика микроскопа. При следующем просмотре, после облучения нейтронами и второго травления, отыскивали все прежде найденные треки, считали новые треки в их окружении и поля зрения снова фотографировали. Сравнение фотографий поверхностей пемзы до вторичного травления и после него позволило довольно точно измерить уменьшение эффективной площади и внести поправку в расчеты.

Метод треков дал значение абсолютного возраста первого слоя 2 млн. лет. Относительная погрешность, с которой была измерена эта величина, не превышала 15%. Теперь, после подтверждения датировки по калию и аргону, можно было с уверенностью поставить олдувейского человека на первое место по древности среди всех известных науке представителей рода Homo. Появление человечества на Земле отодвигалось на 1,5 млн. лет в глубь веков.

Череп под номером 1470: ошибка в оценке возраста — почти миллион лет. Сын Луиса и Мэри Лики — Ричард пошел по стопам родителей. Он твердо решил продолжать поиски ископаемых гоминид в Африке. Закончив колледж, Ричард Лики поселился в столице Кении Найроби и стал работать в Национальном музее.

Специалистов, исследовавших территорию Кении, привлекала малоизученная северная часть страны. В 1967 г. в результате рекогносцировки, проведенной аэрометодами, неподалеку от озера Рудольфа были выявлены осадочные отложения, до-

стигавшие мощности 300 м, время их накопления могло составлять несколько миллионов лет. При вскрытии глубоких горизонтов осадочной толщи можно было надеяться найти следы древних обитателей этих мест. Благоприятным обстоятельством было отсутствие на площади в десятки квадратных километров признаков тектонических подвижек, накопленные за миллионы лет осадки не были потревожены движениями земной коры.

Национальный музей Кении организовал и направил в район озера Рудольфа комплексную экспедицию. План исследований был рассчитан на несколько лет, руководство ими поручили Ричарду Лики. В 1968 и 1969 гг. археологи и антропологи, работавшие вместе с геологами и геофизиками, провели в полевых условиях шесть месяцев. Первые раскопки были сделаны на небольшом полуострове Кооби Фора, расположенном на восточном берегу озера. Сначала обнаружили скопления костей древних млекопитающих: слона, жирафа, гиппопотама, антилопы. Многие из этих костей составляли своеобразную «начинку» плотной вулканической породы — туфа, что позволяло надеяться на надежное датирование. Вскоре в том же слое туфа были найдены каменные орудия, близкие к орудиям олдувейской культуры, а затем и долгожданные остатки гоминид.

Орудия Кооби Фора представляли собой преимущественно базальтовые отщепы, но среди них встречались и рубила-чопперы. По сравнению с олдувейскими они были меньше по размеру, длина чопперов не превышала 7 см. На некоторых орудиях довольно отчетливо наблюдались следы их использования. Тщательное изучение, в котором приняла участие и мать руководителя экспедиции — Мэри Лики, показывало, что вновь найденные предметы несколько совершеннее олдувейских. Складывалось впечатление, что их «выделывала» более опытная рука. Но это, как отметила М. Лики, оставалось лишь предположением, поскольку истинная причина могла быть обусловлена более однородным материалом; в таком случае легче контролировать силу и направление ударов по заготовке орудия. Многие орудия, как и кости древних животных, залегали прямо в слое вулканического туфа. Среди новых находок остатков гоминид в Кооби Фора были челюсти и отдельные зубы, фрагменты черепов.

В июле 1969 г. Ричард Лики отправил образцы туфа для датирования в Кембриджский университет. За анализ взялись Ф. Фитч и Дж. Миллер — исследователи, занимавшиеся ядерной геохронологией. Первые измерения дали абсурдный результат. Калий-аргоновое датирование показало, что возраст анализируемой породы превышает 200 млн. лет. Повторили определения калия чувствительным методом пламенной фотометрии и провели новые измерения содержания радиоактивного аргона на прецизионном масс-спектрометре — омегатроне. Снова по-

лучились значения свыше 200 млн. лет. Вывод мог быть только один: в образцах находятся реликты какого-то минерала из более древней породы. Этот минерал был захвачен туфом при образовании последнего, а поскольку в реликтовом минерале содержится много радиогенного аргона, наблюдаемый кажущийся возраст неизбежно завышается. В конце концов удалось идентифицировать унаследованный туфом минерал, им оказался микроклин.

Результаты измерений сообщили Ричарду Лики, который выслал в Кембридж новые образцы. Фитч и Миллер решили теперь применить модифицированную методику калий-аргонового датирования, связанную с облучением образцов в интенсивном потоке нейтронов. Этот вариант анализа предназначался специально для исследования материалов с низким содержанием калия или малых по массе объектов. Основной изотоп калия— ^{39}K под действием быстрых нейтронов превращается в радиоактивный аргон в процессе ядерной реакции $^{39}\text{K}(n, p)^{39}\text{Ar}$. Количество ядер образовавшегося изотопа ^{39}Ar служит мерой определения калия. Следовательно, если горную породу или минерал облучить нейтронами, потом нагреть и проанализировать выделившийся газ в масс-спектрометре, то по изотопному отношению $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ можно судить о концентрациях калия и аргона, необходимых для подсчета возраста.

Новые определения возраста, проводившиеся с привлечением нейтронов, характеризовались довольно большим разбросом результатов. Усреднив данные по нескольким образцам полевого шпата, извлеченным из туфа и проанализированным нейтронно-активационным методом, Фитч и Миллер опубликовали свою оценку возраста вулканического туфа из формации Кооби Форэ в Северной Кении: 2 млн. 600 тыс. лет [33]. Эта дата относилась к образцам, отобранным в месте залегания каменных орудий. Стали говорить, что обнаружены самые древние на Земле орудия, ведь измерения показывали, что новые находки должны быть старше олдувейской культуры примерно на 800 тыс. лет.

Летом 1972 г. экспедиция Р. Лики начала свой пятый полевой сезон в районе озера Рудольфа. Максимальное внимание уделялось горизонтам, расположенным на уровне датированного слоя вулканических туфов. Археологи и антропологи полагали, что все или почти все найденное здесь может быть связано с событиями, происходившими более 2,5 млн. лет назад. И вот в августе нашли то, о чем впоследствии будут много говорить и спорить ученые разных стран. Один из помощников Ричарда Лики — кениец Бернард Нгенео, осматривая крутой склон глубокого оврага, заметил скопление костных остатков. Это были фрагменты черепа, сильно поврежденного временем, только лобная часть сохранилась хорошо. Чтобы собрать все куски черепа, ученые старательно просеяли землю на площади

квадрата со стороной 20 м и с центром в точке находки. Удалось найти более 150 фрагментов. Теперь можно было начать реконструкцию черепа, ею занялась жена Ричарда Лики.

Еще до того как череп был восстановлен, стало очевидно,



Рис. 9. Ричард Лики с черепом под номером 1470 [70].

что он вмещал мозг солидного объема (рис. 9). После завершения реконструкции сделали измерения, получилась величина 810 куб. см, значительно большая, чем у гомо хабилис — «человека умелого», жившего, как считали, на 800 тыс. лет позже. Внешний вид черепа после восстановления поражал сходством с черепом современного человека (рис. 10). У него довольно высокий лоб, нижняя челюсть не выдается резко вперед, а главное, почти совсем отсутствуют надбровные дуги, характерные для питекантропов, синантропов и даже для появившихся много позже неандертальцев [61].

Удивительный череп сопровождала еще масса значительных находок. В том же 1972 г. в руки участников экспедиции попались две почти целые бедренные кости и крупные фрагменты большой и малой берцовых костей. Остатки нижних конечностей

стей гоминид исключительно редки, уже в глубокой древности они становились добычей хищников. Найденные бедренные кости обладали рядом признаков, сближавших их с костями современных людей. Отмечались, в особенности, черты достаточно хорошей приспособленности к прямохождению. И на-

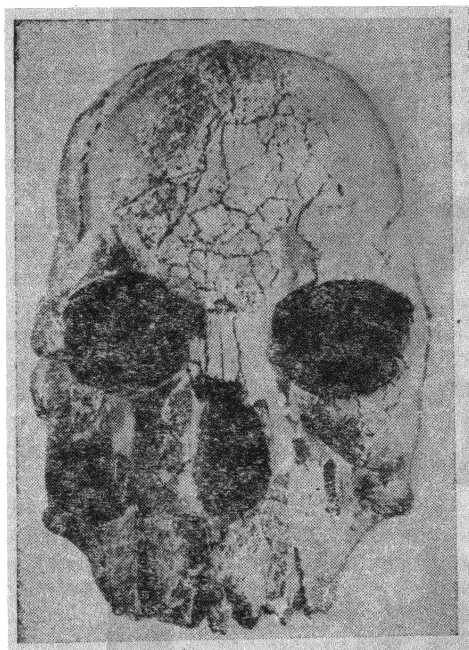


Рис. 10. Череп 1470 в собранном виде. Его возраст, по последним данным, равен 1 млн. 800 тыс. лет [70].

перевезена в Найроби и помещена в Национальный музей Кении. В инвентарном списке археологической коллекции этому черепу был присвоен индекс KNM-ER-1470. Первые три буквы — начала слов, составляющих название музея, затем идут две буквы, поясняющие место находки, и, наконец, следует регистрационный номер. Чаще его называют просто «череп 1470». В течение ряда лет считалось, что абсолютный возраст этого черепа близок к 2,5 млн. лет или даже больше.

Уверенность в исключительной древности «черепа 1470» подкрепили новые экспериментальные данные по датированию, опубликованные в 1976 г. Группа ученых во главе с А. Харфордом применила для определения возраста вулканической породы, в которой залегал череп, метод ядерных треков. Из раздробленных образцов породы отобрали кристаллики циркона — минерала, который почти всегда содержит примесь урана. Усло-

нец, перед завершением полевого сезона 1972 г. были обнаружены фрагменты еще одного черепа, на этот раз небольшого. После его реконструкции стало ясно, что череп принадлежал ребенку 5 или 6 лет, но самое важное заключалось в том, что по строению он был во многом сходен с черепом, найденным ранее Бернардом Нгепео. Таким образом, накопился материал для «вывода в свет» нового представителя семейства гоминид.

Однако Ричард Лики не считал пока возможным дать открытому экспедицией существу новое видовое наименование. Главная находка — собранный из многих кусочков череп взрослой особи — с большими предосторожностями была

вия измерений были не совсем благоприятными. Во-первых, в составе породы было очень мало циркона, большей частью встречались лишь отдельные его зерна, слишком мелкие для того, чтобы получить по ним надежные сведения. Во-вторых, концентрация урана в цирконе на этот раз оказалась неожиданно низкой. Последнее обусловило крайне невысокую плотность треков от спонтанного деления ядер урана, а значит, и существенную статистическую погрешность определяемой величины. Все же группа Харфорда опубликовала среднюю оценку возраста цирконов, характеризующую возраст вулканического слоя, в котором находился череп — 2 млн. 440 тыс. лет. Почти сразу же за этой публикацией появилась новая заметка Ф. Фитча и Дж. Миллера, в которой они обосновывали необходимость несколько уменьшить свою прежнюю цифру и оценивали возраст туфа в 2 млн. 420 тыс. лет.

Прекрасное совпадение результатов, полученных двумя независимыми методами в разных лабораториях, позволило Ричарду Лики и его сотрудникам утверждать, что находкам из северной части Кении, представляющим нового гоминида, на несколько сотен тысяч лет больше, чем самому древнему из известных на Земле людей. Эта точка зрения сохранялась до 1980 г., а череп под номером 1470 появился даже в учебниках по антропологии.

В 1980 г. журнал «Нэйчур» опубликовал статью, где излагались результаты работы, выполненной объединенными усилиями исследователей двух американских университетов — Калифорнийского и штата Юта [32]. Калий-аргоновому датированию была подвергнута новая серия образцов туфовых отложений из района вблизи озера Рудольфа. Они были отобраны специальной экспедицией, проведенной летом 1977 г. При отборе принимались особые меры для того, чтобы полностью исключить влияние радиогенного аргона, который мог бы наследоваться вулканической породой от более ранних геологических образований. С другой стороны, устранялся материал, из которого часть аргона могла улечься на протяжении его геологической истории. Важно, что образцы брались не только в непосредственной близости от точки находки « черепа 1470 », но и на больших расстояниях от нее, конечно, из того же стратиграфического горизонта. Серия была многочисленной, в основном ее составляли минералы — полевые шпаты и вулканические стекла — из одного слоя туфа. Анализ проводился с предельной тщательностью, погрешности измерений удалось свести к минимуму. Конечный результат, зафиксированный с доверительной вероятностью не менее 95 %, составил 1 млн. 800 тыс. лет, ошибка исчислялась в 100 тыс. лет [32]. Практически это не отличается от значения возраста, приписанного ранее «человеку умелому» из Олдувейского ущелья.

Были, однако, исследователи, пожелавшие проверить полу-

ченную цифру по измерениям в собственных лабораториях. Ричард Лики разослал им образцы из своей коллекции, работа по датированию «черепа 1470» радиоизотопными методами продолжалась. Вскоре в научных журналах было напечатано еще несколько сообщений о результатах определения возраста вулканической породы из формации Кооби Фора. Все они основывались на использовании калий-аргонового метода и хорошо согласовывались друг с другом: усреднение оценок, полученных разными авторами, давало величину в 1 млн. 850 тыс. лет, причем среднее отклонение от нее не превышало 100 тыс. лет. Наиболее точную датировку сделали австралийские ученые, позже других приступившие к изучению района озера Рудольфа в Кении. Группа, работавшая под руководством Яна Мак Доугэлла в Канберре, выделила из обломков пемзы кристаллики анортоклаза, абсолютный возраст которых оказался равным 1 млн. 890 тыс. лет. При этом гарантировалось, что погрешность составляет всего лишь 10 тыс. лет.

Чтобы окончательно убедиться в правильности последних данных, нужно было повторить опыты с нейтронно-активационным вариантом калий-аргонового метода, посредством которого пласту туфа из отложений Кооби Фора «присвоили» раньше возраст около 2,5 млн. лет. Это было сделано также в Канберре группой Мак Доугэлла. Кристаллики анортоклаза размером 0,1—0,3 мм в течение 30 часов облучали в ядерном реакторе Австралийского института ядерной науки и техники, затем образцы переносили в высоковакуумную систему, где под действием нагревания из них выделялся аргон, который поступал на изотопный анализ в прецизионный масс-спектрометр. По измеренным величинам изотопного отношения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ получили значение абсолютного возраста в 1 млн. 880 тыс. лет с ошибкой не более 20 тыс. лет [64]. Эта цифра, опубликованная в 1981 г., совпала с предыдущим значением, следовавшим из традиционной методики калий-аргонового датирования. Сомнения в оценке возраста вулканической породы, скрывавшей сенсационную находку, полностью рассеялись.

Итак, пришлось отказать «черепу 1470» в «претензиях» на роль самого раннего человеческого черепа на Земле. Остался, тем не менее, достоверным факт открытия Ричардом Лики гоминида, жившего в глубокой древности и отличавшегося признаками более прогрессивного развития (прежде всего объемом мозга) от представителей рода Номо, которые появились намного позже.

Той, которую называли «Люси», — свыше 3 млн. лет. Если скрупулезная работа по датированию «черепа 1470» привела к тому, что его возраст вначале был завышен примерно на 1 млн. лет, то в случае более позднего открытия, сделанного в Эфиопии, ситуация оказалась противоположной. Здесь обнаружили бесспорно принадлежавшие гоминидам кости, среди

них была уникальная находка — часть удивительно хорошо сохранившегося женского скелета. Первоначальные датировки систематически недооценивали возраст горных пород, между пластами которых скрывались остатки гоминид, на порядочную величину — в несколько сотен тысяч лет.

Место новых находок — Афарская впадина на северо-востоке Эфиопии. Границы впадины были уточнены по фотографиям, сделанным с искусственных спутников Земли. Иногда этот район называют просто Афаром или Афарским треугольником, так как на космических снимках видно, что форма углубления в земной коре близка к треугольной.

Афарская впадина заполнена многометровой толщей озерных отложений и речных наносов. В осадочную толщу, как в слоеный пирог, заключены пласты базальтов и туфов, образовавшихся в результате извержений древних вулканов, расположенных главным образом по периферии впадины.

В 1972 г. в Афаре побывал французский палеонтолог М. Тайеб, изучавший древнюю фауну Восточной Африки. Он заметил, что в этом районе на сравнительно небольшой глубине часто встречаются массовые скопления костей ископаемых позвоночных животных. Почти все кости оказывались на редкость хорошо сохранившимися, по ним было легко идентифицировать вымерших животных. Тайеб определил остатки слона, носорога, гиппопотама и многих других позвоночных, обитавших в эпоху плиоцена — свыше 2,5 млн. лет назад. Представлялось заманчивым попытаться найти в Афаре следы гоминид, которые, возможно, обитали здесь одновременно с плиоценовыми животными.

По инициативе М. Тайеба была организована международная Афарская экспедиция, объединившая специалистов в разных научных областях. В число руководителей экспедиции вошел американский антрополог Д. Иогансон. Наметили район работ — местность под названием Хадар в центральной части Афарской впадины. Хадар расположен в бассейне реки Аваш, на расстоянии около 600 км от столицы Эфиопии Аддис-Абебы. Уже в 1973 г. в Хадаре начались раскопки.

Быстро вскрыли костеносные горизонты, но сначала в них попадались только кости животных. Первую находку остатков ископаемого человекообразного принес день 30 октября 1973 г. Долгожданные фрагменты костей — правой и левой бедренных, а также большой берцовой — лежали очень близко друг от друга и, вероятно, принадлежали одному индивидууму. В самом конце полевого сезона обнаружили еще часть левой височной кости. Изучение этих находок показало, однако, что кости, по-видимому, относятся не к представителю рода Ното, а к австралопитеку — высокоразвитому двуногому ископаемому примату.

В 1974 г. Афарская экспедиция продолжала раскопки в Ха-

даре. Новый полевой сезон сложился гораздо удачнее. С середины октября и до конца года были найдены остатки десяти особей гоминид. Среди них оказались неполные и одна полная челюсть, отдельные зубы, кости конечностей, части черепа. Самая важная находка была сделана 24 ноября, в этот день удалось обнаружить несколько десятков различных костей, залегающих в одном скоплении и явно относившихся к одному и тому же скелету. Собранные кости составили значительную часть скелета — примерно 40%. Ряд признаков указывал, что это был скелет женщины. По предложению Д. Иогансона ее стали называть «Люси».

«Люси» была миниатюрным созданием, ее рост не превышал 125 см. Но из этого отнюдь не следовало, что все открытые существа были низкорослыми; остальные взрослые особи, черепа и кости которых посчастливилось найти в Хадаре, очевидно превосходили «Люси» по росту, хотя по многим анатомическим признакам были близки к ней. А самое важное заключалось в том, что новые находки можно было уже не приписывать австралопитекам, а отнести к представителям рода Ното или же к их непосредственным предшественникам. Несмотря на сравнительно небольшой объем мозга, эти существа, возможно, использовали орудия и кости для охоты на животных. Ходили они безусловно прямо и довольно уверенно [53].

Дальнейшая работа Афарской экспедиции в 1975, 1976 и 1977 гг. ознаменовалась новыми успехами. Собранная коллекция включала остатки минимум 35 и максимум 65 индивидуумов, в ней были представлены почти все части и детали скелета. Коллекция отличалась и высоким качеством, сохранность находок по-прежнему была великолепной. По мере роста коллекции укреплялось мнение о том, что открыты гоминиды, жившие, очевидно, во времена плиоцена. Встал вопрос о датировании афарских находок.

Геохронологией района Хадар занималась американская группа, входившая в состав экспедиции. Это была группа специалистов из университета в Кливленде, ее возглавлял Дж. Аронсон. К началу 1976 г., когда М. Тайеб и Д. Иогансон подготовили статью об открытии гоминид в Афаре, кливлендская группа располагала ограниченными фактами по датированию, но предварительные оценки возраста все же были даны.

Геологическая обстановка мест находок благоприятствовала определению возраста. Пласты базальтов и туфов совсем не были нарушены тектоническими подвижками, они хорошо прослеживались по всем направлениям и могли служить опорными горизонтами при корреляции осадочных слоев в процессе датирования. Для первых опытов по определению возраста опорных вулканических пород было взято всего пять образцов. Два из них представляли базальт, залегающий немного ниже уровня, где были найдены остатки гоминид. Три образца

относились к пласту туфов, расположенному еще ниже. Эти образцы из туфа оказались неудачными, калий-аргоновое датирование вулканического стекла, выделенного из них, привело к противоречивым результатам. Сначала получили 3 млн. лет с лишним, потом — 4, а еще позднее — 5 млн. лет. Вулканическое стекло, по всей вероятности, содержало избыточный радиогенный аргон, который оно захватило при застывании и который делал измерение возраста невозможным. Для измерений оставались всего два образца базальта. Результаты их анализа на калий и аргон сошлись вполне удовлетворительно, для одного значение возраста составило 2 млн. 950 тыс. лет, для другого — ровно 3 млн. лет [74]. Но двух определений было, конечно, мало, поэтому решили привлечь данные по палеомагнетизму разреза горных пород, в котором обнаружили кости гоминид. Материал для измерения намагниченности был ограниченным, однако в него входило несколько образцов того же базальта, для которого уже стали известны данные по калий-аргоновому датированию. Кроме того, имелись образцы, представлявшие осадочные отложения, лежащие над этим базальтовым пластом и под ним. В осадочных слоях остаточное магнитное поле было нормальным, в то время как в пласте базальта — обратным. Поскольку возраст базальта уже был определен — около 3 млн. лет, решили, что нормальное поле осадочных пород можно связать с событиями Кайенна и Маммот (см. рис. 6). В соответствии с палеомагнитной геохронологической шкалой эти события происходили в эпоху Гаусса, первое из них — между 2,8 и 2,9 млн. лет назад, а второе — между 3,0 и 3,1 млн. лет назад. Следовательно, палеомагнитные данные подтверждали древность опорного пласта, возраст которого должен фиксировать верхний предел возраста гоминид в Афаре. Однако результаты по датированию были еще слишком малочисленными.

Новые данные о датировке геологической формации, скрывавшей ископаемые остатки гоминид, были опубликованы в 1977 г., по завершении очередного этапа работы международной экспедиции. На этот раз исследование осуществлялось более детально и велось тремя методами: калий-аргоновым, трековым и палеомагнитным. В дополнение к пласту базальта, залегающему на несколько метров ниже слоя с находками, изучался туфовый пласт, проходящий выше этого слоя. Прежде на пласт туфа не обратили внимания из-за того, что расстояние между ним и слоем с ископаемыми остатками гоминид было довольно большим, свыше 20 м. Датирование двух вулканических пород, одна из которых сформировалась раньше слоя с находками, а другая — позже, позволило взять искомым возраст «в вилку», определить для него крайние значения с обеих сторон.

Калий-аргоновое датирование базальта дало уже знакомую

пифру — ровно 3 млн. лет. Для туфа с помощью того же метода была получена величина в 2 млн. 630 тыс. лет. Датировать базальт методом треков было невозможно из-за слишком низкой концентрации в нем урана и отсутствия прозрачности, необходимой для наблюдения следов осколков. Анализ цирконов, отобранных из туфа, дал значение 2 млн. 580 тыс. лет с погрешностью в 230 тыс. лет.

Особое внимание уделялось исследованию палеомагнетизма. Изучалась вся толща геологической формации района Хадар мощностью почти 200 м. Образцы отбирались в среднем через каждые полметра, их общее количество превышало 400. Они намагничивались в переменном поле с увеличивающейся напряженностью, после чего можно было судить о направлении остаточной намагниченности. Поле обеих опорных пород — и туфа, и базальта — оказалось обратным. По всем полученным данным был построен палеомагнитный разрез формации Хадар; сопоставление этих данных с результатами геологических и ядерно-геохронологических исследований позволило найти места в разрезе, соответствующие событиям Кайенна и Маммат. Как и раньше, на установленные места пришлось результаты палеомагнитного изучения осадочных слоев, соседствующих с горизонтом находок. Все полученные данные, в целом, хорошо согласовывались, и возраст гоминид в Афаре стали ограничивать двумя крайними величинами: не менее 2 млн. 600 тыс. и не более 3 млн. 100 тыс. лет [24]. Эти цифры представлялись, и не без основания, выявленными с достаточной степенью надежности, поскольку они базировались на значительном фактическом материале.

Афарские гоминиды, включая ставшую знаменитой «Люси», получили право на то, чтобы считаться древнейшими людьми на Земле. Пересматривались прежние представления о времени возникновения человека, теперь можно было говорить, что начало рода Номо лежит в третичном периоде. Но в марте 1982 г. Дж. Аронсон и его коллега Р. Уолтер сообщили, что в их ранее опубликованные оценки абсолютного возраста пород формации Хадар вкралась ошибка. Ошибка была «счастливой», она смещала возраст афарских находок в сторону больших значений, сильно «удревяяя» их.

Дело заключалось в неточной калибровке прибора, служившего для измерений количества радиогенного аргона в образцах пород. Калибровка производилась по редкому изотопу ^{38}Ar , в природном аргоне его всего лишь 0,063%. Даже небольшая погрешность в определении содержания ^{38}Ar приводит к значительной ошибке измерения содержания ^{40}Ar , нужного для подсчета возраста. После тщательных калибровочных опытов перемеряли концентрацию радиогенного аргона во всех старых образцах из Эфиопии, затем проанализировали ряд новых образцов спорных пластов туфа и базальта.

Новый результат калий-аргонового датирования туфа составил 2 млн. 880 тыс. лет, погрешность определения — 80 тыс. лет. Датирование базальта дало значение 3 млн. 600 тыс. лет с погрешностью в 150 тыс. лет. Когда повторили датирование цирконов из туфа методом треков, выяснилось, что и здесь результаты были занижены, теперь получили 2 млн. 700 тыс. лет. В пределах погрешности, составлявшей 200 тыс. лет, это согласовывалось с результатом калий-аргонового метода. Итак, на временной шкале пласт туфа сдвинулся на 300 тыс. лет, а пласт базальта — на полмиллиона. Уточненные данные ограничивали новые пределы абсолютного возраста афарских гоминид: не менее 2 млн. 900 тыс. и не более 3 млн. 600 тыс. лет [78].

Чтобы согласовать вновь полученные ядерно-геохронологическими методами оценки с результатами измерения остаточной намагниченности горных пород Хадара, пришлось весь палеомагнитный разрез, установленный раньше, сместить «вниз» по шкале времени. Это означает, что пласт опорного базальта образовался не в эпоху Гаусса, а в эпоху Гильберта, в пределах которой имеется интервал обратного магнитного поля, начавшийся 3 млн. 700 тыс. и закончившийся 3 млн. 400 тыс. лет назад.

Таким образом, обнаруженная в Афарской впадине «Люси» — самая ранняя из известных сейчас «праматерей» рода человеческого.

Цепочки следов, застывших 3,5 млн. лет назад. Через год после начала работы международной экспедиции в Афаре другая группа ученых, целью которых был также поиск ископаемых гоминид, приступила к исследованиям в Танзании. В 1974 г. под руководством Мэри Лики (Луиса Лики, к сожалению, уже не было в живых, он умер в конце 1972 г.) эта группа принялась за раскопки в местности Летолил, расположенной на севере страны, в долине реки Гарузи. Район Летолил находится недалеко от знаменитого ущелья Олдувей, место новых раскопок было выбрано в 50 км к югу от пункта, где был открыт человек, возраст которого составлял почти 2 млн. лет.

Выбор местности Летолил для палеоантропологических изысканий определялся несколькими причинами. В 30-х годах долину реки Гарузи обследовала небольшая экспедиция Л. Коль-Ларсена, в 1935 г. здесь побывали супруги Лики. Было известно, что на разных уровнях геологического разреза Летолила встречаются остатки животных, обитавших в третичном периоде. В окрестностях Летолила есть потухшие вулканы, поэтому среди отложений наблюдаются пласты застывшей лавы, пепла, туфов, т. е. объектов, удобных для датирования. Надежду на удачные поиски гоминид в этом районе внушала близость Олдувейского ущелья.

Исследователи, работавшие в Танзании, стремились как можно скорее получить сведения об абсолютном возрасте вул-

жаноженных пород района. Нужно было найти наиболее надежные пласты, чтобы использовать их в качестве маркирующих горизонтов, а также убедиться в том, что возраст этих образований достаточно солиден. Вот почему с самого начала сотрудниками экспедиции в Летолиле уделялось особое внимание работе по датированию, в ней участвовали опытные специалисты, в частности Г. Кертис, изучавший в свое время абсолютный возраст горных пород Олдувея.

Полная мощность толщи вулканогенно-осадочных отложений в Летолиле достигает 130 м. Уже в 1974 г. с помощью калий-аргонового метода был датирован слой лавы в верхней части разреза, его возраст составил 2 млн. 400 тыс. лет. В 1975 г. тем же методом измерили возраст разновидности слюды — биотита, выделенного из пласта туфа, проходящего ниже слоя лавы. Биотит — один из тех минералов, которые особенно пригодны для датирования по калию и аргону, с ним можно добиться точных результатов. Возраст биотита из туфового пласта оказался равным 3 млн. 590 тыс. лет, погрешность этого измерения была небольшой, всего 50 тыс. лет. Для надежности пробу биотита датировали повторно, применив нейтронно-активационный вариант калий-аргонового метода. Измеренное изотопное отношение дало значение абсолютного возраста 3 млн. 550 тыс. лет, что прекрасно сходилось с уже полученной оценкой [59].

В течение двух полевых сезонов, в 1974 и 1975 гг., экспедиция Мэри Лики нашла остатки 13 архантропов — верхние и нижние челюсти, отдельные зубы. Все они были отысканы в верхней части вулканогенно-осадочной толщи, лишь 60 м ее из 130 содержали костеносные слои. Кости архантропов вместе с многочисленными остатками древней (плиоценовой) фауны залегали ниже пласта с возрастом 3 млн. 590 тыс. лет. Но под костеносными слоями, на глубине 50 м от датированной породы, проходил еще один пласт туфа, из которого также можно было извлечь биотит. Когда с помощью калий-аргонового метода измерили его возраст, то получили значение, равное 3 млн. 770 тыс. лет [59]. Таким образом, сделанные оценки показывали, что гоминиды жили в местности Летолил не позже 3 млн. 550 тыс. и не ранее 3 млн. 770 тыс. лет назад.

Сенсационными стали результаты сезона 1977 г., когда экспедиция в Летолиле нашла то, чего еще никто и никогда не видел — отпечатки следов ног архантропов на застывшей поверхности вулканического пепла (рис. 11).

Сперва обнаружили отдельные следы птиц и млекопитающих, отпечатавшиеся в слое когда-то пылеобразного пепла, который сразу после оседания был горячим и мягким. Потом пепел, вероятно, стал похож на глину или, скорее, на жидкий цемент. А поскольку для этого была нужна вода, можно пола-

гать, что извержение вулкана происходило во время сезона дождей.

Расчистка поверхности обнаруженного слоя пепла выявила, что следов очень много. Жирафы, саблезубый тигр, носороги, слоны, антилопы, обезьяны оставили здесь свои «автографы». Всего идентифицировали следы 20 видов различных животных. Выяснилось также, что следы расположены цепочками, вполне вероятно, что животные шли на водопой. Толщина слоя пепла составляет всего 15 см, значит, застывал он довольно быстро. Поверх слоя с отпечатками пахотилась пятиметровая толща другого пепла — грубого, крупнозернистого, который завалил уже остывшие следы и тем самым сохранил их на долгие-долгие годы.

Следы гоминид отпечатались там же, где и следы животных. Всего было обнаружено шесть цепочек таких следов, самая короткая насчитывает 5, а самая длинная — 22 отпечатка ног. Следы показывают, что ступни оставивших их ног были широкими и сравнительно короткими. Средняя ширина следа 10 см, а длина варьирует от 15 до 19 см. Если исходить из типичного отношения длины ступни современного человека к его росту, составляющего в среднем 0,15, то получится, что рост ископаемых гоминид не превышал 120 см. Несмотря на небольшую длину следов, по ним видно, что ноги архантропа были присущи черты морфологического сходства с ногой современного человека: большой палец — самый длинный, и он параллелен остальным пальцам (а не отставлен в сторону, как у обезьян), продольный свод стопы достаточно углублен.

«Наследившие» архантропы передвигались прямо, но «косолапили», по-видимому, раскачиваясь на ходу, на некоторых це-



Рис. 11. Следы гоминид, ходивших вертикально, на вулканическом пепле, который, судя по результатам калий-аргонового датирования, застыл, по крайней мере, 3 млн. 600 тыс. лет назад [60].

почках след одной ноги находится непосредственно перед следом другой, т. е. почти на одной линии. Шаги гоминид довольно короткие, их минимальная длина составляет 31 см, максимальная (в другой цепочке следов) — 47 см [60].

Застывший пепел с запечатленными на нем следами залегают между пластами пород, возраст которых достаточно надежно определен при датировании образцов биотита калий-аргоновым методом. Следовательно, зафиксированный вулканическим пеплом эпизод произошел 3 млн. 600 тыс. или 3 млн. 700 тыс. лет тому назад.

Помимо уникальных отпечатков в 1977 и 1978 гг. в Летолиле были найдены новые остатки гоминид, включавшие части черепа и детского скелета. Изучение всей собранной коллекции привело антропологов к выводу о том, что здешние ископаемые остатки по ряду анатомических признаков близки к соответствующим находкам из Афара. В анатомии гоминид Летолила и Афара было, конечно, много общих черт примитивного характера, но вместе с тем отмечалась и явная общность их прогрессивного развития. Наиболее убедительно это удалось показать исследователю из Мичиганского университета Алану Риану, который изучал строение зубов летолилских и афарских гоминид при помощи сканирующего электронного микроскопа.

Сканирование электронным лучом дает возможность увидеть мельчайшие подробности поверхностной структуры зубов и тем самым проанализировать их износ. Последний характеризуется тремя видами нарушений зубной эмали: бороздами, оставленными твердыми волокнами листьев растений; микроуглублениями, возникающими при дроблении твердой пищи, а также расслаиванием и микротрещинами. Микротрещины и связанное с ними расслаивание встречаются, например, в настоящее время у людей из некоторых племен, но совсем отсутствуют у обезьян. На зубах же из Летолила и Афара отмечаются все три вида нарушений [31].

После детального сравнительного анализа находок в Эфиопии и Танзании американские антропологи Д. Иогансон и Т. Уайт выдвинули гипотезу о том, что гоминиды из Афара и Летолила представляют собой одну и ту же стадию эволюции человека и являются самыми древними непосредственными предшественниками гомо сапиенс. В 1979 г., когда эта теория была опубликована, возраст гоминид из Афара еще не был пересмотрен и уточнен, его еще полагали не превышающим 3 млн. лет. А возраст гоминид из Летолила считался по крайней мере на 0,5 млн. лет больше, что дало повод М. Лики и другим ученым подвергнуть точку зрения американских антропологов серьезной критике. В 1982 г. выяснилось, что как раз возраст афарских гоминид намного больше 3 млн. и даже может достигать 3,5 млн. лет.

Новая оценка существенным образом сближала время оби-

тания в Восточной Африке гоминид из Афара и Летолила. Теперь можно было говорить о синхронности событий, отделенных друг от друга расстоянием в 700 км. Это подкрепляло теорию Йогансона и Уайта, по которой именно с афарско-летолилского типа началось раздвоение ствола генеалогического древа семейства гоминид. Одна ветвь дала австралопитеков, а вторая — «человека умелого», гомо хабилис, за которым последовал гомо сапиенс [54]. Результаты кропотливого труда специалистов, занимавшихся определением абсолютного возраста связанных с ископаемыми остатками гоминид геологических образований, показали, что подобное раздвоение могло произойти около 3,5 млн. лет назад.

Разумеется, еще многое предстоит сделать на пути изучения происхождения человека. Когда-то представлялось, что не хватает всего-навсего единственного звена в цепи уже сделанных открытий в области антропогенеза. Лавинообразный поток новых находок выявил не одно, а целый ряд звеньев и показал, что их следует искать и в будущем. Об исключительно важной роли датирования находок с помощью физических методов, основанных на явлении радиоактивного распада, говорит уже то обстоятельство, что эти методы установили время свершения величайшего в истории мира события — рождения человека — и что другими методами современной науки установить его было бы невозможно.

Палеомагнитные характеристики Улалинки и Азыха — древнейших поселений первобытного человека на территории СССР. Еще совсем недавно археологи не знали на территории нашей страны ни одной стоянки первобытных людей, возраст которой превышал бы несколько десятков тысяч лет. Сейчас известны два поселения, в которых люди обитали, по крайней мере, не менее 700 тыс. лет назад. Одно из них, Улалинка, находится на юге Сибири; другое, Азых, — на Кавказе. Датировать обе стоянки удалось после изучения палеомагнитных свойств отложений на уровне наиболее ранних культурных слоев.

Поселение Улалинка было обнаружено в 1961 г. археологической экспедицией, работавшей под руководством акад. А. П. Окладникова. Улалинка — маленькая речка, протекающая на окраине города Горно-Алтайска и впадающая в реку Майму. На размытом Улалинкой склоне горы нашли несколько грубых орудий труда, сделанных весьма примитивным образом из кварцевых галек. Никто не предполагал, что здесь — древнейшее палеолитическое поселение в Сибири.

В 1969 г. начались систематические раскопки Улалинки, помимо археологов в работе участвовали геологи и геофизики. Как археологические находки, так и геологические условия местности указывали на древность поселения. Найденные орудия не отличались разнообразием, они были представлены лишь простейшими рубилами — чопперами и скреблами. Чопперы

были изготовлены самым примитивным способом — раскалыванием галек на две плоско-овальные половины, следы отделки на них практически отсутствуют. Скребла делались из меньших по размеру галек, плоских и овальных, раскалывание при этом не применялось. Собранные на Улалинке орудия следовало, без сомнения, отнести к галечной культуре — самой ранней культуре палеолита. Материал всех без исключения орудий одинаков — желтовато-белый кварцит. Тот факт, что не нашлось ни одного кремневого орудия, объясняется просто: в этих местах кремнь — большая редкость.

Первые оценки возраста стоянки на Улалинке были получены по стратиграфическим данным. Значительная часть каменных орудий находилась в слое наносов, образованных с широким участием обломочных пород. В этом слое, мощностью около 6 м, много глыб и крупных обломков, что говорит о важной роли процесса выветривания местных горных пород при формировании склоновых отложений. Усиленное выветривание должно было быть связано с переменной климата, с его существенным потеплением. Геологические данные и изотопное датирование протактиниевым методом показывают, что 120—130 тыс. лет назад на территории Сибири господствовал теплый климат, этот период называют казанцевским межледниковьем. Казанцевскому межледниковью соответствовали наиболее высокий подъем уровня Мирового океана и потепление в других частях света — в Европе и Северной Америке.

Из стратиграфических исследований получалось, что поселение на Улалинке надо датировать плейстоценом, т. е. люди обитали в Сибири примерно 100 тыс. лет назад. Ранее же считалось, что самым древним стоянкам первобытного человека в Сибири не более 20—22 тыс. лет. После открытия Улалинки можно было говорить о факте обитания в Сибири не только кроманьонцев, но и их далеких предков — неандертальцев. С последними и стали связывать крайне архаичную культуру галечных орудий, найденных в окрестности Горно-Алтайска.

Среди каменных орудий, обнаруженных на Улалинке, было несколько необычных. На солидных по размеру камнях кроме следов оббивки можно было заметить отчетливые красные пятна, такие же, которые получают в результате обжига камня в костре. Это наводило на мысль, что обитатели Улалинки использовали для изготовления орудий огонь: разводили костер, раскаляли в нем камни, а затем поливали их холодной водой и легко отщепляли мелкие куски, служившие заготовками для будущих рубил и скребел. Улалинка оказалась наиболее древней стоянкой в Сибири, сохранившей самые ранние следы применения огня людьми каменного века [14].

«Удревнение» возраста Улалинки произошло следующим образом. К 1970 г. сибирские ученые завершили изучение палеомагнитных свойств кайнозойских горных пород на территории

обширного района Западной Сибири — Бийско-Барнаульской впадины. В разрезах четко выделялась инверсия геомагнитного поля, осуществившаяся 690 тыс. лет назад. Граница между породами, относящимися к двум палеомагнитным эпохам — Брюсса и Матуямы, проходит вдоль контакта резко различных по внешнему виду осадочных отложений, одни отложения называются сероцветными, другие — пестроцветными. Сероцветные породы характеризуются нормальной (прямой) намагниченностью, а залегающие под ними пестроцветные породы имеют обратную намагниченность. Реперным горизонтом пестроцветных отложений выступает слой золотисто-желтой глины, он прослеживается по всему Горному Алтаю. Этот слой уверенно фиксировался и в срезе раскопа на Улалинке, где были найдены древние орудия труда. Обратная намагниченность слоя золотисто-желтой глины указывала на то, что он сформировался в палеомагнитную эпоху Матуямы, закончившуюся 690 тыс. лет назад. Таким образом, последняя цифра определяла минимальный возраст поселения людей каменного века, обнаруженного на Улалинке.

В 1979 г. сибирские археологи и геофизики провели дополнительное исследование палеомагнитных свойств отложений на месте раскопок. Геофизики составили сводный палеомагнитный разрез стоянки на Улалинке и сравнили его с ранее изученными палеомагнитными разрезами типичных плиоцен-четвертичных отложений юга Сибири. Инверсия магнитного поля Земли, разделяющая две последние палеомагнитные эпохи и запечатленная в геологических разрезах, надежно устанавливалась во всех объектах. Это подтвердило глубокую древность поселения на Улалинке [13].

По мнению А. П. Окладникова, палеолитическое поселение, открытое на Улалинке, свидетельствует о том, что Алтай должен рассматриваться как один из древнейших центров расселения человека в Евразии. Поскольку палеомагнитные исследования позволили установить лишь верхнюю границу возраста стоянки, а эпоха Матуямы, как известно, началась более 2 млн. лет назад, то не исключено, что люди обитали на Алтае примерно в то же самое время, что и олдувейский человек в Африке [14].

Второе древнейшее поселение первобытного человека на территории СССР — пещерная стоянка Азых — было открыто в 1960 г. археологом М. М. Гусейновым вблизи деревни Азых, которая находится в Нагорно-Карабахской автономной области Азербайджанской ССР. Пещера Азых расположена в предгорьях Карабахского горного хребта, на высоте 850 м над уровнем моря. Стены пещерной стоянки сложены юрскими известняками, она протянулась примерно на 220 м, два выхода ведут из нее в ущелье.

В первые годы изучения стоянки были вскрыты культурные

слои, отнесенные к раннему палеолиту. В этих слоях обнаружили многочисленные каменные орудия и скопления костей. В 1968 г. в одном из культурных слоев Азыхской пещеры нашли крупный фрагмент нижней челюсти неандертальца, а в 1974 г. в более глубоких отложениях были обнаружены примитивные орудия галечной культуры. Эти орудия послужили первым указанием на древность поселения.

Комплексное изучение стоянки Азых было осуществлено сотрудниками Института географии Академии наук СССР. Важные результаты дало исследование древней флоры, в частности пыльцы растений, найденной в культурных слоях пещеры. Оказалось, что нижние отложения, те самые, в которых встретились галечные орудия, содержат следы теплолюбивых деревьев (например, грецкого ореха), произраставших когда-то здесь. Стало быть, в период первоначального заселения Азыхской стоянки в этой местности был значительно более теплый и влажный климат по сравнению с современным [4].

В 1975 г. М. А. Певзнер провел палеомагнитное исследование разреза отложений Азыхской пещеры. В разрезе было выделено 17 слоев, сгруппированных в три основные пачки. Образцы горных пород, предназначенные для определения естественной намагниченности, отбирались так, чтобы с достаточной представительностью охарактеризовать каждую из трех пачек. Всего было исследовано 128 образцов, которые имели форму кубика с ребром в 24 мм. Величина остаточной намагниченности образцов пород измерялась дважды: до и после так называемой термомагнитной чистки. Последняя сводится к воздействию на изучаемые объекты высокочастотного поля небольшой интенсивности. Термомагнитная чистка применялась для того, чтобы снять вторичную намагниченность, которая могла появиться при повышении температуры во время транспортировки образцов или из-за случайного нагрева их еще на стоянке.

Вместе с величиной остаточной намагниченности определялось и ее направление. Несмотря на то, что в отдельных случаях наблюдался довольно большой разброс направлений намагниченности внутри образца, для основной части объектов удалось дать уверенное заключение о знаке намагниченности. Все образцы из слоев, относящихся к верхней части разреза, обладали нормальной намагниченностью. Иначе говоря, подавляющая часть исследовавшейся толщи формировалась в современную палеомагнитную эпоху — эпоху Брюнеса. А образцы из слоев, залегающих в нижней части разреза, имели противоположную по знаку палеомагнитную характеристику, на этом основании их можно было отнести к палеомагнитной эпохе Матюмы.

Следовательно, нижние слои пещерных отложений Азыха с галечной культурой образовались по крайней мере 690 тыс. лет назад. Это верхняя граница возраста Азыхской стоянки. Впол-

не возможно, что первые обитатели появились в пещере значительно раньше. С учетом мощности отложений нижней части разреза, для которых характерна обратная полярность геомагнитного поля, можно предположить, что галечная культура Азыха возникла примерно 1 млн. лет назад [4].

С этой точки зрения Азых — пока единственная в мире пещерная стоянка, где в одном разрезе зафиксировано несколько уровней обитания, охватывающих широкий по длительности диапазон истории первобытного человека, начиная с крайне примитивной галечной культуры и вплоть до культуры типа мустье. Если самые первые люди обитали в Азыхской пещере около 1 млн. лет назад, то носители мустьерской культуры жили здесь гораздо позже, примерно 60 тыс. лет назад. Хронологически наиболее ранние культурные слои Азыха, возраст которых установлен с помощью палеомагнетизма, сопоставимы лишь с пещерной стоянкой Валлоне, расположенной на Средиземноморском побережье Франции, неподалеку от Ниццы. Абсолютный возраст этой стоянки оценивают в 900—950 тыс. лет [4].

Датировка событий последних ста тысяч лет

Изотопные методы пригодны для исследования объектов, возраст которых может варьировать в очень широких пределах. Но если время существования объекта сравнительно невелико, нужно использовать радиоактивные изотопы с меньшими периодами полураспада. К последним относится изотоп радиоактивного углерода — ^{14}C , период полураспада которого равен 5768 годам. Радиоуглеродный метод датировки был предложен американским физиком У. Ф. Либби в 1947 г. Сначала этот метод применялся только в археологии, потом он получил широкое распространение в других науках, прежде всего в геологии.

Роль радиоуглеродного датирования в исторических исследованиях исключительно велика. Установление абсолютного возраста необходимо при изучении цивилизаций, не имевших календаря с определенной исходной датой и пользовавшихся относительным отсчетом времени. С другой стороны, в прошлом люди не всегда исчисляли время в точном соответствии с основной нашей единицей — солнечным годом. О масштабе измерений, проводимых с целью датирования по изотопу ^{14}C , свидетельствует тот факт, что число лабораторий в мире, специализирующихся только на определении абсолютного возраста радиоуглеродным методом, превышает 150. Издается международный журнал «Радиокарбон», в котором публикуются даты, полученные в различных лабораториях. Список предметов, изу-

чавшихся с помощью радиоуглеродного метода, весьма внушительны. Он включает уголь из костров и остатки жилищ, деревянные гробницы египетских фараонов и доски этрусских гробниц, ткани, снятые с человеческих мумий, и шерсть мумифицированных священных кошек, обшивку древнегреческих и древнеримских кораблей, сплетенные 2600 лет назад веревки, семена древнего лотоса и зерна пшеницы, бобов и ячменя, кости, шерсть и кожу мамонтов и многое другое.

Поскольку радиоуглеродный метод применяется очень широко, даже просто перечислить интересные факты, выявленные с его помощью, невозможно. Ниже рассматриваются лишь две крупные исторические проблемы, решению которых в значительной мере способствовало привлечение результатов радиоуглеродного датирования. Это проблемы заселения Америки и появления земледелия. Данные, полученные в последние годы, говорят о необходимости существенного пересмотра сложившихся ранее представлений как о первых американцах, так и о первых земледельцах на земном шаре.

Нижний предел применимости радиоуглеродного метода составляет 55—60 тыс. лет. За время, равное десяти периодам полураспада ^{14}C , его активность снижается в 2^{10} , или 1024 раза. Для измерения столь низких активностей не годится даже высокочувствительная аппаратура. Если требуется исследовать объекты, время существования которых порядка 100 тыс. лет, прибегают к датированию по продуктам распада урана, в частности по изотопу тория — ^{230}Th . С датированием по ^{230}Th связан приводимый нами пример изучения стоянки неандертальцев на Дунае. Этот пример характерен, так как именно при изучении неандертальских стоянок специалисты убедились в ограниченных возможностях радиоуглеродного датирования.

Чтобы соблюсти хронологический порядок, сначала проиллюстрируем использование изотопа с большим, чем у радиоуглерода, периодом полураспада, а затем перейдем непосредственно к проблемам датирования по ^{14}C .

Амулеты первых неандертальцев. Появление неандертальцев связано с глобальным потеплением климата Земли. Между двумя последними оледенениями — рисским и вюрмским — в Европе, Азии и Африке создалась благоприятная обстановка для расселения людей и распространения их с юга на север. Начало теплого межледникового рисс-вюрмского времени считают отстоящим от наших дней на 120—110 тыс. лет, конец же его приходится на 90—70 тыс. лет назад. Когда наступило вюрмское похолодание, неандертальцы, по-видимому, приспособились к более суровым климатическим условиям, господствовавшим на Европейском континенте. Местонахождение Неандерталь под Дюссельдорфом, открытое еще в 1856 г., до сих пор остается самым северным пунктом, где найдены остатки неандертальцев в Европе.

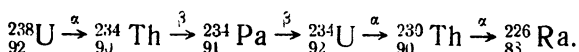
Неандертальцы являлись носителями особой культуры с характерной техникой обработки камня. Эту культуру именуют мустьерской по названию французской пещеры Ле-Мустье, в которой стоянку неандертальцев обнаружили еще в середине XIX в. Мустьерская индустрия охватывает широкий круг орудий: остроконечники, скребки, резцы, сверла, ножи. Изготавливались они из кремня, кварцита, яшмы. Неандертальцы жили как в пещерах, так и под открытым небом, иногда они сооружали жилища, натягивая шкуры на крупные кости мамонтов. Неандертальцы впервые при захоронениях умерших стали закладывать в могилы разнообразные предметы. По вещам, обнаруженным в захоронениях, можно полагать, что у неандертальцев зарождались первые религиозные верования.

Известно много неандертальских стоянок, особенно в Европе. Большая часть стоянок, для которых определен абсолютный возраст, относится к поздней мустьерской культуре, т. е. к периоду от 55 до 35 тыс. лет назад. Это объясняется тем, что хронологические измерения велись радиоуглеродным методом, предел практической применимости которого составляет приблизительно 55 тыс. лет. Часто исследователям неандертальских стоянок удавалось оценить лишь верхнюю границу абсолютного возраста, поскольку из-за крайне низкой активности радиоуглерода число зарегистрированных импульсов от бета-частиц было ничтожным, даже при длительных измерениях.

Определению возраста материалов раннемустьерских стоянок могут служить изотопы, у которых период полураспада в несколько раз больше, чем у радиоуглерода. Такие изотопы есть, правда, их можно использовать не во всех случаях. Дело в том, что эти изотопы являются продуктами распада урана (его дочерними изотопами) и находятся в состоянии радиоактивного равновесия, если с момента образования горной породы или минерала прошло много (в геологическом понимании) времени. При равновесии одинаковы активности всех членов уранового ряда, поэтому применение дочерних изотопов для измерения возраста невозможно. Датирование становится реальным, если по каким-нибудь причинам радиоактивное равновесие было нарушено. К горным породам, формирование которых сопровождалось нарушением равновесия в урановом ряду, относятся так называемые травертины.

Травертин, или известковый туф, — это пористая порода, сформировавшаяся в результате осаждения карбоната кальция из нагретых внутренним теплом Земли растворов. В подобных растворах соотношение между радиоактивными элементами — ураном и торием — всегда складывается в пользу первого, так как он способен образовывать растворимые соединения, которые могут переноситься на большие расстояния. При формировании травертина осажденный вместе с карбонатом кальция уран оказывается отделенным от всех своих дочерних изо-

топов, в том числе и от изотопов тория — ^{234}Th и ^{230}Th , занимающих второе и пятое место в урановом ряду:



Во вновь возникшей системе, а мы рассматриваем травертин, концентрации дочерних изотопов урана будут постепенно увеличиваться, стремясь к равновесным значениям. Скорость установления равновесия зависит от периода полураспада дочерних ядер. У изотопа ^{230}Th период полураспада равен 75 тыс. лет, в состоянии равновесия с материнским изотопом он будет находиться примерно через 500 тыс. лет. Ясно, что чем древнее порода, тем больше в ней накопилось изотопа ^{230}Th . Время, необходимое для достижения равновесия, характеризует предел применимости того или иного изотопа для хронологических измерений. По изотопу ^{230}Th можно датировать объекты с возрастом от нескольких десятков тысяч до полумиллиона лет.

Датированием по изотопу ^{230}Th были устранены противоречия в результатах изучения известной неандертальской стоянки Тата в Венгрии. Эта стоянка расположена примерно в 70 км от Будапешта, вблизи Дуная. Там были найдены типично мустьерские кремневые орудия, а также два предмета неизвестного назначения. Археологи предполагают, что это неандертальские амулеты [72].

Первый амулет вырезан из коренного зуба мамонта, все острые углы его стесаны, так что зуб принял форму фасолы. Поверхность находки, длина которой составляет 11 см, отполирована и местами раскрашена растертой охрой. Второй амулет сделан из ископаемой раковины — нуммулита. Эта раковина напоминает большую монету (отсюда ее название), она круглая и плоская. Поверхность раковины тщательно выровнена, и на ее плоскости заметен знак креста. По-видимому, крест не был начерчен неандертальцем, а возник от случайного пересечения двух трещин в окаменелости.

В 1964 г. по материалам стоянки Тата было получено несколько радиоуглеродных дат. Обгорелые кости, взятые непосредственно из культурного слоя, дали значение возраста 33600 ± 1100 лет. Кости, однако, не самый лучший объект для радиоуглеродного анализа, поэтому более надежными представлялись результаты по древесному углю из того же слоя. Возраст угля был близок к пределу применимости метода: $55000 \pm \pm 2500$ лет. Установленный радиоуглеродным методом возраст говорил о том, что рассматриваемая стоянка была обитаемой во время вюрмского похолодания, когда значительная часть Европы уже лежала под льдами. Однако палеонтологические исследования обнаружили на ней много костей теплолюбивых животных, которые должны были исчезнуть с наступлением

вюрмских холодов. По этой причине местонахождение Тата следовало бы отнести к ресс-вюрмскому межледниковью. А так как оно длилось несколько десятков тысяч лет, то возраст стоянки становился весьма неопределенным.

Мустьерские орудия и кости животных, найденные на стоянке Тата, были скрыты в лессовых наносах со средней мощностью около метра. Под отложениями лесса и над ними идут известковые туфы — травертины. Они и были использованы для датирования по методике, основанной на измерении активности изотопа ^{230}Th .

Определение возраста травертинов будет в максимальной степени достоверным, если эти породы свободны от обломочных примесей. Такие примеси в виде небольших обломков посторонних пород могли быть захвачены карбонатом кальция, образовавшимся при осаждении из раствора. Торий, у которого значительно меньше растворимых соединений, нежели у урана, часто присутствует в обломочных горных породах в повышенных количествах. Причем относительно высокими концентрациями могут обладать все изотопы тория, в том числе и ^{230}Th . Следовательно, при датировании травертинов необходимо контролировать влияние обломочного материала, это можно сделать путем измерения отношения активностей изотопов ^{230}Th и ^{232}Th . Когда отношение $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ велико, долей изотопа ^{230}Th , связанной с обломками, можно пренебречь. Если же указанное отношение мало, то оно свидетельствует о значительном вкладе обломочного материала, и в результаты измерений необходимо внести соответствующие поправки.

Абсолютный возраст неандертальского поселения на территории Венгрии, в датировке которого не было достаточной ясности, точно определили сотрудник музея в Тате И. Скофлекс и канадский ученый Г. Шварц. Их статья о хронологических измерениях серии травертиновых образцов была опубликована в 1982 г. [72].

Сначала образцы травертина отбирались на расстоянии от 1,5 до 3 м вверх и вниз от культурного слоя. О присутствии обломочных пород судили по соотношению активностей изотопов ^{230}Th и ^{232}Th . Если отношение $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ превышало 20, поправка к результатам не требовалась. Выяснилось, что удаленные образцы практически не содержали обломков посторонних пород. В образцах же травертина, взятых в непосредственной близости от культурного слоя — в полуметре выше и ниже его, напротив, обломки присутствовали, в них отношение $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ было меньше 10.

Каждый образец травертина растворяли в кислоте, нерастворившийся осадок удаляли. Затем из раствора выделяли торий и уран, их соединения наносили на стальные диски и начинали измерения альфа-активности. Концентрации урана в образцах травертина, которые определяли активность продуктов

его распада, включая и активность изотопа ^{230}Th , были довольно низкими, от $3,6 \cdot 10^{-5}$ до $7 \cdot 10^{-5}\%$. Но поскольку радиоактивные элементы были осаждены из растворов и тем самым сконцентрированы, скорость счета альфа-частиц была вполне достаточной, чтобы довести статистическую погрешность до приемлемого уровня. Измерялись активности четырех альфа-излучающих изотопов: ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th и ^{230}Th — по группам альфа-частиц, энергия которых характеризует определенный излучатель.

Образцы травертина, взятые в полутора метрах выше и ниже культурного слоя, дали соответственно минимум и максимум искомого абсолютного возраста. Получить эти значения было сравнительно просто, так как результаты измерения возраста образцов не нуждались в поправках. Минимальное значение оказалось равным 78 тыс. лет, максимальное — 116 тыс. лет. Полусумма крайних значений составила 97 тыс. лет, это была первая оценка возраста стоянки Тата по новой методике.

Несмотря на то, что в образцах травертина, взятых в непосредственной близости от культурного слоя, присутствовали мешающие компоненты обломочных пород, результаты измерения их альфа-активности удалось скорректировать. Когда точки, соответствующие этим образцам, нанесли на диаграмму, по координатным осям которой были отложены значения отношений $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ и $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$, то получилась прямая линия. По наклону прямой линии к горизонтальной оси можно было судить о величине отношения $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, свойственной незагрязненному обломкам травертину и которую надлежало использовать при расчете абсолютного возраста. Таким путем получили значения возраста пластов, непосредственно прилегающих к культурному слою, а из них возраст самого слоя, который составил 99,4 тыс. лет.

Следовательно, работа Г. Шварца и И. Скофлека доказала, что на территории Венгрии неандертальцы жили значительно раньше, чем это было установлено прежде радиоуглеродным методом. Первыми неандертальцами 100 тыс. лет назад были изготовлены предметы, которым, возможно, люди того времени приписывали магическую силу. Если, впрочем, находки на стоянке Тата и не являются атрибутами одного из самых ранних культов, то они, во всяком случае, представляют собой образцы первых произведений примитивного искусства.

В заключение заметим, что местонахождения неандертальских стоянок не так уж редко приурочены к травертинам, поэтому надо ожидать новых работ по датированию с привлечением изотопа ^{230}Th . Они расширят наши знания о первых неандертальцах, живших на Земле в эпоху между двумя последними оледенениями.

Радиоуглеродное датирование. К определению возраста находок по радиоактивному изотопу углерода столь

часто прибегают археологи, что мы считаем целесообразным специально остановиться на основах этого метода.

Дело в том, что в верхних слоях атмосферы изменяется состав космических лучей, достигших Земли. Частицы первичного космического излучения (среди них главную роль играют протоны) обладают высокой энергией и могут расщеплять ядра атомов, встречающихся на их пути. В результате таких расщеплений появляются нейтроны, которые, в свою очередь, могут привести к ядерным реакциям. Важнейшая реакция, вызванная нейтронами, это превращение азота в углерод: $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$. Изотоп ^{14}C радиоактивен, период его полураспада равен 5768 годам; испуская β -лучи, ^{14}C превращается в стабильный азот — ^{14}N .

Радиоуглерод быстро окисляется, превращаясь в радиоактивный углекислый газ — $^{14}\text{CO}_2$, который в течение 10—15 лет полностью перемешивается с основной массой углекислого газа атмосферы. Через углекислый газ ^{14}C попадает в растения, а оттуда — в живые организмы. Равновесная концентрация изотопа ^{14}C в обменном углероде биосферы составляет $1,2 \cdot 10^{-10}\%$, это соответствует примерно 15 распадам в минуту на грамм углерода органического происхождения.

Как только прекращается обмен веществ, что ведет к гибели организмов, концентрация радиоуглерода в тканях начинает уменьшаться. По количеству ^{14}C , присутствующему в настоящее время в остатках организмов, растений или в иных объектах органического происхождения, можно определить момент прекращения углеродного обмена с атмосферой. Уменьшение количества ядер ^{14}C в образце после прекращения этого обмена выражается формулой

$$^{14}\text{C}_{\text{обр}} = ^{14}\text{C}_{\text{атм}} e^{-\lambda t},$$

где $^{14}\text{C}_{\text{обр}}$ и $^{14}\text{C}_{\text{атм}}$ — концентрации изотопа ^{14}C в образце и атмосферном углероде; λ — постоянная распада ^{14}C . Искомое время определяется формулой

$$t = (1/\lambda) \ln (^{14}\text{C}_{\text{атм}} / ^{14}\text{C}_{\text{обр}}).$$

Выше отмечалось, что первые измерения абсолютного возраста по радиоуглероду были сделаны для археологических объектов. Чтобы показать надежность радиоуглеродного датирования, У. Ф. Либби выполнил контрольный эксперимент, взяв для исследования пробы дерева гробниц древнеегипетских фараонов. Конец правления фараона Джосера египтологи датировали 2700 г. до н. э. Если предположить, что деревья для гробницы были срублены в год смерти Джосера, нетрудно подсчитать ту активность изотопа ^{14}C , которая должна остаться в мертвой древесине к началу измерений. По расчету выходило, что в каждом грамме углерода древесины в среднем ежеминутно

происходит 7 распадов. Результаты измерений дали активность, в точности равную расчетной.

В основу радиоуглеродного метода было положено допущение о том, что содержание ^{14}C во внешней среде (воздух, вода) в момент, фиксирующий прекращение обмена веществ в объектах, было таким же, как и в настоящее время. Затем выяснилось, что это допущение не является вполне строгим. За последние 100 лет в результате сжигания ископаемого топлива атмосфера разбавлена техническим CO_2 , который практически не содержит изотопа ^{14}C (в каменном угле и нефти концентрация радиоуглерода ничтожно мала, там он практически полностью распался). Термоядерные взрывы, при которых высвобождается большое количество нейтронов, наоборот, в отдельные периоды значительно повышали содержание ^{14}C в атмосферном воздухе. С этой точки зрения при определении абсолютного возраста древних предметов было предложено брать в качестве $^{14}\text{C}_{\text{атм}}$ концентрацию радиоуглерода не в современной атмосфере, а в атмосфере прошлого века, когда указанные причины еще не действовали. Можно использовать, например, концентрацию ^{14}C в деревянных предметах, изготовленных в XIX в.

В дальнейших исследованиях также выяснилось, что содержание радиоуглерода в атмосфере изменяется в зависимости от интенсивности космического излучения. Протоны космического излучения отклоняются магнитным полем Земли, действующим, подобно экрану. Судя по палеомагнитным данным, напряженность геомагнитного поля за последние десятки тысяч лет не оставалась постоянной; соответственно этому менялась интенсивность космических протонов, достигающих верхних слоев атмосферы, а значит, и число вторичных нейтронов, вызывающих реакцию образования изотопа ^{14}C . Ясно, что в результаты радиоуглеродного датирования нужно вносить поправки, для расчета которых привлекают палеомагнитные данные. Уточнению показаний радиоуглеродного метода в пределах последних тысячелетий способствовала проведенная Х. Зюссом калибровка изотопных данных по результатам определения возраста на основе изучения годовичных колец деревьев.

Из-за влияния ряда обстоятельств, вызывающих неточность в определении возраста радиоуглеродным методом, трудно сделать ошибку измерения меньше ± 100 лет. Поэтому наиболее ценные результаты получают при радиоуглеродном датировании объектов, относящихся к отдаленным, доисторическим эпохам.

Каков же возраст первых американцев? Вопрос о появлении человека на Американском континенте всегда вызывал дискуссии у историков. Мировая наука изучает эту проблему уже более 400 лет. До тех пор, пока археологи не раскопали мест древнейших стоянок и найденные там материалы не были исследованы в физико-химических лабораториях, теории и гипоте-

зы о заселении Нового Света строились на догадках, зачастую фантастических. Во времена открытий Колумба и его последователей полагали, что индейцы — это потомки древних израильтян, якобы переселившихся в Америку в VIII в. до н. э. Такая версия основывалась на библейском рассказе о десяти пропавших коленах Израиля, т. е. о нескольких поколениях израильтян, изгнанных ассирийскими завоевателями. Когда примерно через 200 лет персидский царь Кир разрешил потомкам изгнанников возвратиться в Израиль, никто не вернулся.

По другой теории американские индейцы произошли от атлантов, их родиной следовало считать знаменитую Атлантиду, впервые описанную Платоном. Американским аборигенам приписывали родство с выходцами из Финикии, было известно, что древние финикийцы славились как отличные мореплаватели. Не исключали, что до Америки доплывали корабли из Древней Греции или Рима. Однако никто не осмеливался думать, что первые люди появились на Американском материке ранее II или III тысячелетия до нашей эры. Такова была точка зрения ученых еще в 20-х годах нашего столетия.

В 1925 г. в США, в штате Нью-Мексико, были найдены первые следы человека, обитавшего в этих местах около 10 тыс. лет назад. На берегу небольшой реки возле городка Фолсом обнаружили каменные орудия — скребки и наконечники дротиков, а также многочисленные кости бизонов. Один из наконечников даже был всажен в бизонье ребро, что прямо указывало на род занятий первобытного человека.

Когда изучали находки в Фолсоне, метода определения абсолютного возраста, пригодного для археологии, еще не существовало. Датирование провели по стратиграфическим данным, ориентируясь на последовательность залегания пластов горных пород. В дальнейшем выяснилось, что фолсомская культура типична для Северной Америки. Стоянки носителей этой культуры — охотников за бизонами — нашли в Техасе, Колорадо, Вайоминге, Небраске и других штатах. Раскопки, проведенные в 40-х и 50-х годах, показали, что эти стоянки, как правило, связаны с одной и той же толщей красноцветных песков. Отсюда следовало, что фолсомская культура в Америке должна характеризоваться сравнимыми и довольно близкими значениями абсолютного возраста.

Датировка фолсомских стоянок радиоуглеродным методом, во-первых, подтвердила предварительные стратиграфические оценки, а во-вторых, обнаружила, что большинство значений абсолютного возраста действительно попадает в один и тот же, относительно узкий, временной интервал. Так, для образцов костей и древесного угля из кострищ стоянки Лаббок в Техасе был получен средний радиоуглеродный возраст 9880 ± 350 лет, исследование аналогичных объектов стоянки Линденмейер в Северном Колорадо дало средний возраст 10780 ± 135 лет, а для

двух местонахождений в штате Вайоминг среднее значение составило 10370 ± 700 лет [8].

Эти даты согласуются с важным палеоклиматическим событием, рубеж которого также установлен по радиоактивному углероду. Приблизительно 10500 лет назад на территории Северной Америки закончился длительный период так называемого висконсинского оледенения, и в течение нескольких веков климат здесь был теплым. Быстро растаяли ледники, произошла смена растительности. Хвойные леса, господствовавшие во времена позднего висконсина, стали уступать место лиственным. Сопоставление содержаний пыльцы хвойных и лиственных деревьев с радиоуглеродным возрастом остатков древесины, присутствующих на тех же стратиграфических уровнях, подтвердило, что смена растительности завершилась около 10 тыс. лет назад. Таким образом была обеспечена палеоклиматическая «привязка» фолсомской культуры.

Потепление, начавшееся 10,5 тыс. лет назад, было глобальным, оно зафиксировано в истории древних климатов различных регионов Северного полушария. В настоящее время уточненная характеристика этого палеоклиматического рубежа, усредненная по многим радиоуглеродным датам из разных географических точек, составляет 10300 ± 100 лет. Большинство исследователей принимают ее как естественную границу между современной эпохой в геологической истории Земли — голоценом и предшествовавшей эпохой — плейстоценом.

Кроме теплого периода, разделявшего плейстоцен и голоцен, на территории Северной Америки было несколько более ранних потеплений климата. Обобщение хронологических данных, полученных ядерно-физическими методами, показало, что как крупные, так и меньшие по значимости изменения климата в Европе, Сибири и Северной Америке были синхронными. В этой связи особую ценность представляют результаты по корреляции геологических событий на территории азиатской части СССР и в других регионах Северного полушария, опубликованные в 1974 г. Н. В. Кинд [9]. Как следует из табл. 1, измерения абсолютного возраста горных пород и биологических объектов позволили установить, что за период с 50000 до 10300 лет назад и в Сибири, и в Северной Америке было шесть потеплений климата. Эти потепления иногда называют интерстадиалами, поскольку ими разделяются стадии оледенения. Некоторые интерстадиалы охватывают многие тысячелетия, к ним относятся потепления в пределах так называемого среднего висконсина. Висконсинское оледенение в Америке соответствует вюрму в Европе, когда там обитали неандертальцы.

Жили ли на территории Америки люди во время ранних потеплений климата, связанных с висконсинскими интерстадиалами? Датирование по радиоуглеродному методу показало, что среди раскопанных археологами стоянок есть и такие, возраст

Таблица 1

Сопоставление на основе датирования по радиоуглероду изменений климата и ледниковых событий на территории Сибири и Северной Америки за период 50000—10300 лет назад [9]

(цифры указывают длительность климатостратиграфических подразделений, наименования которых связаны с географическими названиями мест исследований)

Сибирь		Северная Америка	
Сарганское оледенение	Норильская стадия, 11400—10300	Поздний висконсин	Стадия валдерс
	Таймырское потепление, 11800—11400		
	Похолодание		Интерстадиал ту-крикс, 12500—11000
	Кокоревское потепление, 13000—12200		
	Ньяпанская стадия, 15000—13000		Похолодание пайндейл
			Интерстадиал кэрн, 13600—13200
	Интерстадиал, 16000—15000		Похолодание стэнли
	Гыданская стадия, 22000—16000		Интерстадиал лэйк-эри, 16000—15000
Каргинское межледниковье	Липовско-новоселовское потепление, 30000—22000	Средний висконсин	Интерстадиал фармдейл, 29000—22000
	Коношельское похолодание, 33000—30000		Похолодание виннебаго, 32000—29000
	Малохетское потепление, 43000—33000		Интерстадиал плано-силт, 48000—33000
	Раннее похолодание, около 45000		Похолодание дануич
	Раннее потепление, 50000—45000		Интерстадиал порт-толбот

которых значительно больше возраста фолсомской культуры. В 1953 г. в Техасе, неподалеку от города Мидленд, нашли часть черепа и ряд других костей женского скелета, залежавших на

несколько метров ниже обнаруженных здесь же следов фолсомской стоянки. Первые радиоуглеродные датировки указывали, что абсолютный возраст «женщины из Мидленда» не так уж велик, не более 8670 лет. Но потом выяснилось, что в результаты измерений вкралась ошибка, обусловленная «загрязнением» углерода исследовавшихся объектов. Дальнейшие оценки дали существенно иную величину: 20400 ± 1200 лет [8].

Немалый интерес представило изучение стоянки Тюль-Спрингс в штате Невада. Открытая еще в 1932 г., она была тщательно исследована четверть века спустя. Стоянка расположена в долине Лас-Вегас, где воды реки обнажили семиметровую толщу озерных отложений. Под этими отложениями залегают плотные глинистые породы, в которых были обнаружены угли от костров, а затем и кости животных: длиннорогого бизона, северного оленя, мамонта, лошади, крупного наземного ленивца. Последний, как и мамонт, давно вымершее млекопитающее, находки его костей подчеркивали древность местонахождения. Были отысканы и древние орудия — каменные скребки, шила из кости, обсидиановые отщепы. По стратиграфическим критериям можно было полагать, что человек жил здесь 25 тыс. лет назад. Радиоуглеродный анализ вели по древесному углю из культурного слоя. Содержание ^{14}C в углях оказалось крайне малым, удалось определить лишь верхнюю границу абсолютного возраста — 23800 лет. В 1962 г. анализ повторили, но результаты вновь были полуколичественными, возраст угля получился превышающим 28 тыс. лет [8].

Эти данные наводили на мысль, что Американский континент был заселен людьми в период интерстадиала фармдейл, начавшегося приблизительно 29 тыс. лет назад. Известны и другие местонахождения человека, возраст которых, по-видимому, связан с этим же потеплением климата. Наиболее убедительные результаты дали раскопки на острове Санта-Роза, расположенном в заливе Лос-Анджелес, в 45 км от побережья Калифорнии. Этот остров, как и его соседи, ранее был частью материка и являлся продолжением горного хребта Санта-Моника. В геологических отложениях на Санта-Розе установлена последовательность разновозрастных горизонтов, каждый из которых несет остатки ископаемого человека. Все горизонты были датированы по радиоактивному углероду. Наиболее «молодыми» оказались человеческие скелеты из прибрежных погребений в дюнах, им было в среднем по 7070 лет. На глубине свыше 10 м нашли две человеческие бедренные кости, а рядом с ними кости мамонта. Возраст этого слоя составил ровно 10 тыс. лет. Раковины моллюсков, употреблявшихся в пищу древними обитателями острова, были вскрыты ими 11900 лет назад. Около 12 тыс. лет назад разжигались костры, о чем свидетельствовали древесные угли одного из горизонтов. Самый древний возраст, $29750 \pm \pm 2500$ лет, относился к слою с остатками карликового мамонта,

в этом слое также можно было видеть следы человеческой деятельности [8].

В 1978 г. появилось описание скелетных фрагментов ископаемых людей из Лагуна-Бич и Лос-Анджелеса. Два черепа из этих мест принадлежали женщинам не старше 30 лет. Абсолютный возраст одного из них, определенный по содержанию ^{14}C , составил 23600 лет [16]. На то время женский череп со столь внушительной датой представлял собой древнейшие костные остатки человека на территории Северной Америки.

Однако и до находок в Лагуна-Бич и Лос-Анджелесе стало очевидным, что Америка была обитаема в конце среднего вишконсина. Так, например, к 1962 г. относится первая публикация, указывавшая на возможность заселения Северной Америки в еще более раннее время — до похолодания, начавшегося примерно 32 тыс. лет назад. В окрестностях Далласа, в долине реки Тринити, при постройке дамбы был раскопан слой отложенный со следами очагов, каменными орудиями и костями животных, составивших охотничью добычу обитателей древней стоянки. Угли от костров неоднократно анализировали на изотоп ^{14}C , но каждый раз устанавливали только верхнюю границу абсолютного возраста. Судя по ней, люди жили и охотились здесь более 37 или 38 тыс. лет назад. Сходную дату, 34 тыс. лет, получили при определении возраста древесных углей, оставшихся от костров, следы которых были найдены на глубине около 7 м в районе Ла-Джолли, штат Калифорния.

Как видно, данные о времени появления людей в Новом Свете постепенно все более удрежнялись. Настал момент, когда возможности радиоуглеродного датирования оказались исчерпанными, этот метод перестает «работать», если требуется измерить возраст, превышающий 40 тыс. лет. В 1977 г. определилось место в Северной Америке, где люди жили не менее 40 тыс. лет назад. Таким местом был уже хорошо изученный остров Санта-Роза. Здесь нашли новую стоянку с остатками костра, костями мамонта и примитивными каменными орудиями. Особенно важно было то, что все эти следы залегали на одной площадке. Образцы угля, костей и почвы отправили на анализ Рэйнеру Бергеру, крупному специалисту по ядерно-физическим методам датирования. Когда-то Бергер работал ассистентом у самого У. Ф. Либби, открывшего принцип измерения абсолютного возраста по радиоактивности углерода. Ни в одном из образцов с новой стоянки на Санта-Розе радиоактивный углерод обнаружен не был, несмотря на длительные и очень тщательно проведенные измерения. Это говорило о том, что за время существования рассматриваемых материалов весь радиоактивный углерод уже распался. Пришлось ограничиться пределом, который и составил 40 тыс. лет.

Сенсационные данные, полученные Бергером, нашли неожиданную поддержку. В том же 1977 г. геохимик Джеффрис Ба-

да сообщил, что он только что определил абсолютный возраст человеческих костей на одной из стоянок в Калифорнии и вывел из выполненных измерений значение, равное 48 тыс. лет. Примененный для датирования метод имел совершенно новую основу, он являлся не ядерно-физическим, а биофизическим.

Биофизический метод базировался на особенностях процесса, называемого рацемизацией. Дело в том, что определенные аминокислоты протеина, т. е. белковых клеток человеческого организма, могут существовать в двух формах, каждая из которых выступает зеркальным отображением другой. Одну форму условно называют левой, или *L*-изомером, вторую — правой, или *D*-изомером. Протеин живого организма содержит только *L*-изомеры, но после смерти структура аминокислот начинает меняться, *L*-изомер превращается в *D*-изомер. В этом и заключается рацемизация, которая представляет собой очень медленный процесс изменения белковых веществ костных тканей. По оценкам биофизиков, измерявших скорость рацемизации, приблизительно через 300 тыс. лет после смерти количество «левых» и «правых» молекул уравнивается.

Казалось, что с открытием рацемизации в руки археологов попал метод, который с успехом может заменить радиоуглеродное датирование. Ведь биофизическое измерение возраста могло быть эффективным как раз в области значений, слишком больших по сравнению с периодом полураспада изотопа ^{14}C , но, с другой стороны, слишком малых относительно периода полураспада изотопа ^{40}K .

Вскоре Д. Бада и его сотрудники объявили, что с помощью рацемизации ими идентифицированы остатки ископаемого человека, жившего в Северной Америке 70 тыс. лет назад. Речь шла о стоянке Саннивэйл в Калифорнии. Новая цифра многим представлялась сомнительной, да и сам метод еще не завоевал авторитета. Возникшие сомнения укрепились, когда выяснилось, что скорость превращения «левой» аминокислоты в «правую» зависит от температуры, а значит, и от климатических условий. Чем больше температура, тем быстрее протекает рацемизация, и время выравнивания содержаний *L*- и *D*-изомера сокращается.

Сотрудники Калифорнийского филиала Геологической службы США Джеймс Бичофф и Роберт Розенбауэр решили проверить результаты датирования ископаемых костей биофизическим методом. Они взяли образцы костей с тех же двух стоянок в Калифорнии, которые исследовались группой Д. Бада: в Дель-Мар, где измеренный возраст составил 48 тыс. лет, и в Саннивэйле, где получили возраст 70 тыс. лет. Так как радиоуглерод для датирования заведомо не годился, были использованы дочерние изотопы урановых рядов: ^{230}Th и ^{231}Pa . Первый из них имеет период полураспада 75 тыс. лет и относится к ряду изотопа ^{238}U ; у второго период полураспада равен 32,5 тыс. лет,

он входит в ряд изотопа ^{235}U . Когда в природных условиях уран приобретает подвижную форму, оказываясь, например, в каком-нибудь растворе, то он лишается своих дочерних спутников — изотопов ^{230}Th и ^{231}Pa . Соединения тория и протактиния плохо растворяются в воде, и подвижность этих элементов ничтожно мала по сравнению с ураном. Как только уран выпадает из раствора в осадок, в последнем начинают накапливаться дочерние ядра ^{230}Th и ^{231}Pa . По соотношениям изотопов $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ и $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ в объекте с закрепившимся в нем ураном можно определить возраст. Рассмотренный способ пригоден для датирования материалов с возрастом до 200 тыс. лет, эта цифра характеризует срок установления неизменного значения отношения $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ (примерно через шесть периодов полураспада дочерних ядер соотношение между ними и материнскими ядрами оказывается равновесным).

В датировании по изотопам тория и протактиния есть два положительных момента. Во-первых, это возможность изучения объектов, в которых радиоактивного углерода уже давно нет. Во-вторых, надежность датирования, обусловленная тем, что оно строится на двух независимых группах измерений, каждая из которых дает информацию об отдельном ядерном явлении. Ясно, что согласованность независимых измерений повышает достоверность геохронологических определений. К недостаткам метода относится трудность измерения ультранизких концентраций протактиния, если в изучаемом материале он не успел накопиться в больших количествах. Преодолеть эту трудность можно путем облучения образца интенсивным потоком нейтронов. Тогда в результате поглощения нейтронов образуется изотоп ^{232}Pa , который очень быстро (период его полураспада немногим больше одного дня) превращается в изотоп урана ^{232}U , а его концентрацию легко определить по альфа-излучению. Такой способ установления ничтожных количеств химических элементов называется нейтронно-активационным, он обладает крайне высокой чувствительностью.

Измерение абсолютного возраста человеческих костей стоянок Дель-Мар и Саннивэйл привело к заключению о том, что данные биофизического метода нужно принимать с осторожностью. Вместо величины 70 тыс. лет получили всего 8300, а вместо 48 тыс. — только 11 тыс. лет. Статья с этими цифрами была опубликована в журнале «Сайенс» в 1981 г. [26]. Ознакомившись с ней, Джеффрис Бада высказал критические замечания в адрес использованного метода. По его мнению, торий и протактиний указывают не столько возраст изучаемых костей, сколько время, прошедшее с момента отложения в них урана. Вследствие этого результаты ториево-протактиниевого датирования говорят скорее о минимальном возрасте, истинное значение которого может быть существенно больше. Однако различия в показаниях двух методов настолько велики, что не

приходится сомневаться в наличии факторов, ускоряющих процесс рацемизации, но не учтенных при биофизическом датировании. В конечном счете это лишает полученные значения возраста необходимой достоверности.

Итак пока научные данные ограничивают время заселения Северной Америки рубежом, отстоящим от наших дней примерно на 40 тыс. лет. Можно уверенно связывать появление на Американском континенте людей с потеплением в средневисконсинском ледниковом периоде.

В число характеристик палеоклиматических условий входит уровень воды в Мировом океане, этот показатель имеет непосредственное отношение к вопросу о первых американцах. Сейчас установлено, что на протяжении определенного промежутка средневисконсинского оледенения в Северной Америке (соответственно в течение позднего вюрма в Европе) на всем земном шаре уровень воды в морях был намного ниже современного. На основании радиоуглеродных датировок для отложений затопленных террас у побережья Америки и Австралии сделан вывод о том, что опускание воды в океане началось приблизительно 40 тыс. лет назад, а в интервале 18—13 тыс. лет назад уровень морей располагался на 150 м ниже, чем сегодня. Подъем уровня океана стал происходить примерно 13 тыс. лет назад и особенно резко усилился 2 тыс. лет спустя [9]. Таким образом, в течение нескольких тысячелетий площадь суши Северной Америки, как и других континентов, была гораздо больше, чем в настоящее время. Важнейшим следствием этого было существование сухопутной перемычки между Евразией и Северной Америкой.

О том, что разделенные ныне Беринговым проливом Чукотка и Аляска некогда составляли единое целое, догадывались еще в XVIII в. Об этом писали известный русский исследователь Камчатки С. П. Крашенинников и знаменитый французский естествоиспытатель Жорж Бюффон. Они же предполагали, что по исчезнувшей суше в Америку могли перебраться животные, а возможно, и люди. Опустившуюся под воду земную твердь стали называть Беринговым мостом, составлявшим часть огромной территории — Берингии. Обосновал существование в прошлом сухопутного моста между Чукоткой и Аляской крупный американский геоморфолог Дэвид Гопкинс, он опирался уже на современные научные сведения.

Сейчас Берингов мост не является предметом споров. Считают, что по нему из Старого в Новый Свет перешли в поисках добычи странствующие охотники, разыскивавшие мамонтов и северных оленей. Может быть, среди первых переселенцев были люди, создавшие в Сибири так называемую дюктайскую культуру, открытую советским археологом Ю. А. Мочановым. Памятники этой палеолитической культуры обнаружены в различных районах: на реках Лене, Алдане, Индигирке, Колыме, на

Камчатке, на побережье Охотского моря. Своим названием культура обязана реке Дюктай, притоку Алдана, на ней в 1967 г. была найдена первая пещерная стоянка. В культурных слоях пещеры залегали тысячи каменных орудий, обработанных костей и бивней мамонтов. Кремневые ножи и наконечники копий были обработаны с двух сторон и отличались особой закругленной формой, в дальнейшем выяснилось, что это устойчивые признаки всей дюктайской культуры. Пещера на берегу Дюктая была обитаема на протяжении нескольких тысячелетий, возраст самого нижнего культурного слоя оказался 16 тыс. лет. Вскоре нашли более древнее поселение каменного века в Усть-Миле, в 60 км от Дюктайской пещеры. Здесь также прослеживался целый ряд культурных слоев, абсолютный возраст нижнего составил 35 тыс. лет. Стоянка в Усть-Миле, таким образом, явилась самой древней в Северной Азии.

В 1970 г. экспедиция Мочанова обнаружила следы еще одного поселения с возрастом 35 тыс. лет — стоянку Эжанцы на Алдане. Здесь также были найдены кремневые орудия, обработанные с двух сторон. В том же году дюктайская стоянка была раскопана на Колыме, ее возраст — около 22 тыс. лет. Обобщив данные по датированию и результаты тщательного изучения обширных материалов раскопок, Ю. А. Мочанов пришел к выводу, что потомки людей, сформировавшихся примерно 40 тыс. лет назад (а может быть, и раньше) на Северо-Востоке Азии собственную оригинальную культуру, переселились в Америку. Перешеек, образовавшийся во время понижения уровня океана, привел этих людей на Аляску. В 1973 г. советский ученый представил на Международном конгрессе в Чикаго доклад о древнейших этапах заселения Америки в свете изучения дюктайской палеолитической культуры Северо-Восточной Азии.

Но в таком случае следы пришельцев из Старого Света должны бы остаться где-то на территории самой Аляски, тем более что на ней есть места, в которых никогда не было оледенения, даже в периоды сильных похолоданий горные цепи на севере и юге полуострова создавали сравнительно теплый «коридор». В течение длительного времени древние поселения в Северной Америке обнаруживали лишь в области южных широт, на расстояниях в тысячи километров от Аляски. Только в 1966 г. Ирвингу Харингтону удалось разыскать ископаемые остатки обитателей Берингии. За Полярным кругом, в районе Северного Юкона, на берегу реки Олд Кроу раскопали множество костей различных животных и среди них несколько костяных орудий. Наиболее отделанным был длинный нож из берцовой кости северного оленя, широкий конец его явно когда-то заточили, вероятно, с помощью камня. Кроме того, рабочая поверхность костяного ножа имела довольно аккуратные зубурини, отделенные равными промежутками. Остальные орудия были изготовлены из костей мамонта.

Результаты радиоуглеродного датирования находок на стоянке Олд Кроу появились в печати лишь в 1973 г. Возраст костяного ножа оказался равным 27 тыс. лет, а даты орудий из костей мамонта лежали в интервале от 25750 до 29 тыс. лет. Так как абсолютная погрешность каждого измерения составила около 2 тыс. лет, то все предметы можно считать практически синхронными, со средним возрастом 27 тыс. лет [52].

В 1979 г. на Аляске было сделано еще одно важное открытие. Геолог из Вашингтонского университета Ли Портер, исследовавшая заброшенные золотоискателями шахты в предгорьях Юкона, нашла в одной из них человеческие кости. Рядом лежали кости животных: бизона, мамонта, дикой лошади, мускусного быка. На многих костях наблюдались отчетливые следы расколов, оставленные первобытными людьми. Сделав радиоуглеродный анализ ископаемых остатков «юконского человека», установили его возраст — 29700 лет. Это самый древний житель Берингии по данным, имевшимся к началу 80-х годов. Поскольку 30 тыс. лет назад Берингова пролива не существовало, то возможно, что найденный Ли Портер человек из Юкона был среди первых, перешедших Берингов мост.

Если посмотреть на карту Северного полушария, нетрудно представить, что при опускании морских вод должен был образоваться еще один сухопутный перешеек между Евразией и Северной Америкой — вдоль цепи Алеутских островов, тянувшихся от Камчатки до южной части Аляски. По мнению американского ученого В. Лафлина, по нынешним Алеутским островам проходил более поздний путь расселения древнейших обитателей Американского континента. Он считает, что по северному пути, через Берингов мост, в Америку прибыли предки индейцев, а по южному пути, через Алеутские острова, туда могли попасть прародители эскимосов и алеутов, т. е. монголоидов, живущих по берегам Берингова моря. Если гипотеза Лафлина справедлива, то на Алеутских островах нужно было искать следы культуры, родственной той, которая была открыта ранее на Камчатке. Магаданские археологи во главе с Н. Н. Диковым обосновали самобытность этой культуры после изучения раскопанного в 1966 г. на берегу Ушковского озера камчатского поселения, существовавшего более 10 тыс. лет назад.

Летом 1974 г. на Алеутских островах работала совместная американо-советская археологическая экспедиция. Советских археологов возглавлял акад. А. П. Окладников, американских — проф. В. Лафлин. Почти два месяца велись раскопки на маленьком островке Анангула, длина которого составляет всего 2,5 км, а ширина не превышает 600 м. Анангулу выбрали потому, что уже раньше В. Лафлин открыл на ней загадочную «культуру пластин». Относившиеся к этой культуре предметы отличались от всех других, найденных на древних стоянках Нового Света. Возраст «культуры пластин», определенный по

содержанию ^{14}C , равнялся примерно 9 тыс. лет. Уровень моря в то время был метров на 50 ниже современного, и Анангула тогда не была островом.

Анангульскую коллекцию советских и американских археологов составили несколько тысяч орудий. Из слоев вулканического пепла извлекли не только ножи, резцы, скребки, но и каменные сосуды, лампы-светильники, инструменты для шлифовки дерева и костей. Одни находки напоминали инвентарь стоянок Сибири, Приморья, Алтая, другие были сходны с орудиями, обнаруженными ранее в Монголии и Японии. В целом, все, что было найдено на Анангуле, носило отчетливо выраженный азиатский облик. Особое значение имели каменные наконечники, представляющие собой метательные орудия типа дротиков. Анангульские наконечники почти не отличались от ушковских, стоянки на Камчатке, выявленной экспедицией Н. Н. Дикова. Они сыграли роль последнего штриха в картине доказательств того, что прямыми предками алеутов были выходцы из Азии.

Таким образом, сейчас довольно точно установлено время заселения Америки по двум маршрутам, проходившим по древней Берингии. Практически все значения абсолютного возраста, привлекавшиеся при решении этого вопроса, получены радиоуглеродным методом. Достоверных датировок, свидетельствующих, что человек появился в Новом Свете ранее 40 тыс. лет назад, пока нет. Не исключено, конечно, что они будут сделаны в результате дальнейших исследований. Для этого надо перейти в датировании от радиоактивного углерода к другим методам, возможно, к ториево-протактиниевому.

Где и когда жили первые земледельцы? Ответ на вопрос: «Когда возникло земледелие?» — очень важен для науки. Переход от охоты, рыболовства и собирательства к возделыванию земли свидетельствует о смене коочевого образа жизни людей оседлым. Земледелие представляло собой более надежный источник пищи, его появление безусловно повлияло на человеческий организм, который с продуктами земледелия начал получать немалое количество столь необходимых ему углеводов. С земледелием неразрывно связано расширение человеческих знаний о природе. Ведь для того чтобы выращивать злаки, надо иметь понятие, как сменяются времена года, как ухаживать за посевами, какова зависимость урожая от погоды. Ясно, что определить дату перехода к земледелию — значит, установить ключевой момент в истории человечества.

Датирование истоков земледелия осуществляется радиоуглеродным методом. На основе радиоуглеродных измерений удалось «отодвинуть» возраст земледелия на много тысячелетий назад. Согласно оценкам, сделанным в 50-х годах нынешнего века, люди начали обрабатывать землю около 9 тыс. лет назад. По последним же данным, полученным в конце 70-х годов, первые земледельцы появились приблизительно 18 тыс. лет назад.

Надо отметить, что возраст культурных растений и их география интересуют не только историков, археологов и этнографов, но также и ботаников. Развивается новая отрасль ботаники — палеоботаника (иногда ее называют палеоэтноботаникой), она изучает растительные остатки, найденные на поселениях древнего человека, прослеживает по ним историю доместикации, т. е. «одомашнивания», злаков и других растений [22].

Несколько открытий, касающихся истории земледелия, было сделано в 50-х годах на Ближнем Востоке. В 1952 г. американец Р. Брейдвуд вел раскопки в Иракском Курдистане, в долинах и на склонах Загросских гор. Здесь, на территории Месопотамии, экспедиция Брейдвуда обнаружила целый ряд древнейших поселений, а при раскопках пещерной стоянки Шанидар были найдены остатки пшеницы и ячменя. Из культурных слоев Шанидара археологи извлекли предметы, прямо указывавшие на род занятий обитателей стоянки: каменные серпы, зернотерки, ступки с пестиками.

Определить абсолютный возраст стоянки Шанидар было сравнительно нетрудно, так как во всех отложениях встречались угли от некогда разжигавшихся в пещере костров. Серия радиоуглеродных дат, полученных при исследовании образцов древесного угля, позволила заключить, что обработку земли обитатели пещерной стоянки начали на рубеже VIII и VII тысячелетий до нашей эры. Таких древних дат, связанных с земледелием, прежде не знали. Изучение морфологических особенностей остатков пшеницы и ячменя, найденных в Шанидаре, выявило отличия этих разновидностей от дикорастущих видов.

Результаты исследования находок в Шанидаре противоречили традиционным взглядам, согласно которым все самые внушительные свершения человечества, включая и начало обработки земли, надо связывать, как правило, с культурой людей, живших вдоль великих рек, в частности в долинах крупных рек Ближнего Востока. Открытие Брейдвуда свидетельствовало, во-первых, о том, что начало земледелия относится ко времени, значительно более раннему, чем считалось прежде, а во-вторых, о том, что первые земледельцы жили не там, где предполагалось. Это открытие было трудно переоценить; по выражению советского археолога В. М. Массона, «...стук мотыг первых земледельцев в горах Курдистана возвещал закладку фундамента цивилизации» [11, с. 160].

Через несколько лет следы древних земледельцев были найдены в Иране, Сирии, Ливане, Турции. По абсолютному возрасту вновь открытые поселения не столь уж сильно отличались от Шанидара. Например, при раскопках стоянки Али-Кош в Иране были обнаружены как дикорастущие, так и культурные формы пшеницы. Радиоуглеродное исследование культурных

слоев этого поселения дало группу дат в довольно узком интервале — от 6750 до 6500 г. до н. э. В Советском Союзе наиболее ранние следы земледелия встречены при раскопках неолитического поселения Джейтун в Южном Туркменистане. Абсолютный возраст нижних слоев Джейтуна, определенный по активности ^{14}C в древесном угле, составил 5370 ± 100 г. до н. э.

Спустя 15 лет после открытия Брейдвуда, ученым пришлось «переместить» родину земледелия из Азии в Африку. Сведения о том, что первые земледельцы появились все-таки в Африке, были получены совершенно неожиданно, во время археологических работ, проводившихся параллельно с разборкой знаменитых храмов Абу-Симбел. Эти храмы располагались на территории, которая подлежала затоплению после завершения сооружения высотной Асуанской плотины в Египте. Их распилили на отдельные блоки, перевезли на новое место и там собрали. В зоне будущего водохранилища работало несколько археологических экспедиций.

Одна из экспедиций обнаружила в Нубийской пустыне на юге Египта поселение Тушка, каменный инвентарь которого включал зернотерки и орудия, напоминающие серпы. В 1968 г. были опубликованы результаты определения абсолютного возраста самого глубокого культурного слоя Тушки, скрывавшего найденные орудия. Измерения активности радиоизотопа углерода, содержащегося в остатках древних очагов, дали значение 14550 ± 490 лет. Таким образом, появилось первое указание на то, что в долине Нила земледелие возникло примерно за 12,5 тыс. лет до нашей эры.

Кроме Тушки археологи раскопали древнее поселение у самого Асуана, в местечке Ком-Омбо. Там также встретились многочисленные каменные зернотерки. Для их датирования отобрали необходимые образцы, которые отправили в радиоуглеродную лабораторию. Пришедший ответ содержал два близких значения абсолютного возраста: 13560 ± 120 и 13070 ± 120 лет до нашей эры.

В 1976 г. появилось сообщение о том, что в районе Асуана найдена еще группа древнейших стоянок с каменными серпами и зернотерками. Для этой группы поселений, сосредоточенных у деревни Есна, получили ряд радиоуглеродных дат, заключенных в интервале 12600—12000 лет от наших дней.

Таким образом, по всей совокупности новых археологических открытий прослеживался обширный район древнего земледелия, он тянулся вдоль Нила на несколько сотен километров. Судя по абсолютному возрасту, ранняя фаза земледелия длилась довольно долго, более 2 тыс. лет. Показательно, что этот период соответствовал особенно высокому уровню воды в Ниле, во время его половодья затопливались огромные площади. Климатические условия способствовали выращиванию зерновых растений,

превращению диких злаков в «домашние». Правда, ни на одной стоянке в долине Нила никаких злаковых зерен найдено не было, присутствовала лишь пыльца пшеницы и ячменя.

В 1978 г. в бассейне Нила работала международная экспедиция, ставившая своей целью дальнейшие поиски палеолитических поселений. Экспедиция была организована университетом города Далласа (США), в ней участвовали сотрудники Института истории материальной культуры Польской академии наук и Геологической службы Египта. Раскопки проводились в 20 км к югу от Асуана, в вадии (русло высохшей реки) Куббания, раньше здесь был один из притоков Нила. С севера вадии Куббания ограничена террасами, сложенными из песчаника. Полная высота террас достигает 40 м, нижние уступы террас показывают, что в доисторические времена уровень Нила был значительно выше, чем теперь. На пойменных террасах имеются валы, представляющие собой остатки дюн. Несколько тысяч лет назад при разливах Нила вода заполняла все окрестные низины и доходила до подножия дюн. Нильская вода приносила огромные массы ила, который осаждался и постепенно накапливался в пойме.

За один полевой сезон археологи обнаружили в вадии Куббания целую группу палеолитических стоянок. Эти стоянки сосредоточены на двух участках, расположенных на расстоянии около 3 км. Первая группа стоянок находится на дюнах, вторая — на равнине. Стоянки на дюнах сравнительно небольшие, площадью от 100 до 300 кв. м, а равнинные поселения охватывают площадь в несколько тысяч квадратных метров. На всех стоянках нашли разнообразные каменные орудия, кости зверей, птиц и рыб, следы костров — угли и обожженные камни. Обитатели стоянок, несомненно, занимались охотой, а также ловлей птиц, особенно в зимнее время. Удалось идентифицировать кости диких гусей и уток, прилетавших в Африку зимовать. Рыбьи кости в изобилии залегали на дюнных стоянках, это свидетельствовало о том, что нильская вода несла с собой и рыбу, которая оставалась в мелких заводях среди дюн, где ее легко было ловить.

Среди каменных орудий, встреченных на стоянках, были зернотерки и ступки. Последние изготовлены из плотного песчаника, их пестики имели довольно правильную коническую форму (рис. 12). Эти находки указывали на то, что обитатели поселений употребляли в пищу перетертые зерна злаков. Наконец, в одном из раскопов на дюнной стоянке среди остатков очага нашли четыре зерна и часть колоса. Зерна были обугленными, но не сгоревшими, под микроскопом хорошо просматривалось их клеточное строение. Три зерна представляли ячмень (*Hordeum vulgare*), а одно — пшеницу (*Triticum boeoticum*) [79]. Очень важно было точно определить абсолютный возраст поселения, в котором посчастливилось отыскать зерна. Кроме того,

требовалось найти доказательства, что эти зерна выращивались, а не просто собирались.

В радиоуглеродную лабораторию Далласского университета отправили образцы древесного угля из нескольких очагов, обнаруженных на дюнных стоянках. Химическая обработка, образцов, предшествовавшая измерению активности выделенного изотопа ^{14}C , проводилась с особой тщательностью и осторожностью. Необходимо было исключить возможное загрязнение образцов современным углеродом, в том числе и тем, который мог попасть в них с углекислым газом атмосферы.

Для образцов из вад Куббания было сделано восемь радиоуглеродных датировок. Минимальный абсолютный возраст оказался равным 16960 лет (погрешность ± 210 лет), максимальный — 18240 лет (погрешность ± 290 лет). Эти значения намного превосходили возраст всех известных ранее земледельческих поселений.

Представляют ли найденные зерна культурные виды ячменя и пшеницы или относятся к дикорастущим формам? Обугленные зерна ячменя и пшеницы с трудом поддаются идентификации. Как свидетельствует рис. 13, размеры ячменных зерен из вад Куббания меньше, чем у современного дикорастущего ячменя. Но существует и культурный ячмень со сравнительно мелкими зернами. Следовательно, размеры зерен нельзя считать показательными, так как этот признак перекрывается у культурных и диких видов. И все же среди находок в вад Куббания была одна, которую можно рассматривать в качестве доказательства того, что обнаруженные остатки принадлежали выращенным злакам. Это часть колоса, найденная вместе с зернами. У дикорастущих злаков устройство колоса способствует очень легкому высвобождению зрелого зерна, что необходимо для размножения растения. У культурных злаков, наоборот, строение колоса позволяет удерживать в нем зерно довольно прочно. Именно



Рис. 12. Одна из каменных ступок с коническим пестиком, найденная в вад Куббания. Как показало радиоуглеродное датирование, ею пользовались 17 тыс. лет назад [79].

такой признак и был найден на части колоса из вад *Кубба*-*ния*.

Итак, по новым радиоуглеродным датам, которые тесно группируются около 18—17 тыс. лет тому назад, можно «ото-

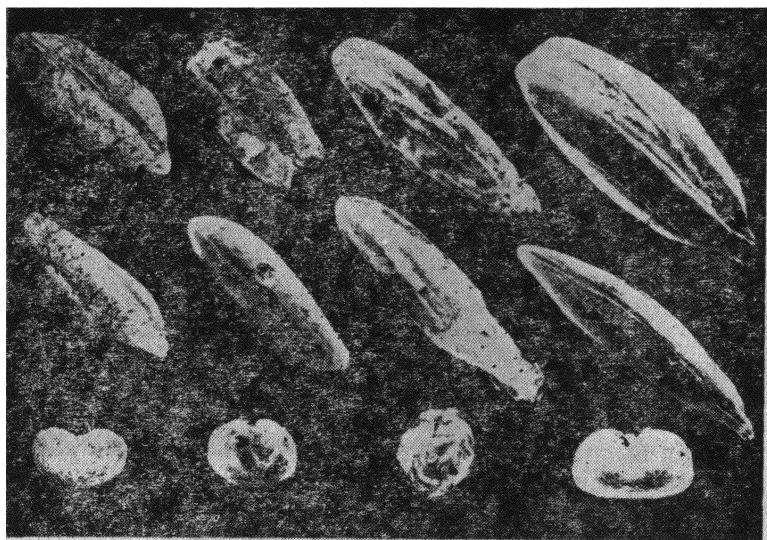


Рис. 13: Сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа снимки (в трех проекциях) трех ячменных зерен, сохранившихся от самых первых земледельцев на Земле. Справа — зерно современного дикорастущего ячменя [79].

двинуть» время первого шага к земледелию еще на несколько тысячелетий. Люди, жившие в долине Нила в конце каменного века, сумели использовать исключительно благоприятные для выращивания ячменя и пшеницы условия, существовавшие в ту пору в окрестностях великой африканской реки. Следует ли на этом основании считать родиной земледелия долину Нила? Вероятно, такой вывод очень заманчив для исследователей египетских памятников, однако он был бы преждевременным. В отличие от ближневосточных центров у памятников типа вад *Куббания* пока не известны «преемники» с дальнейшими прогрессивными сдвигами в развитии производящего земледельческо-скотоводческого хозяйства. Возможно, что перед нами пример очага земледелия, который возник в результате неблагоприятных изменений в естественных пищевых ресурсах, но по тем или иным причинам не получил дальнейшего развития,

Стабильные изотопы и микроэлементы говорят о происхождении находок

Изотопные характеристики, с одной стороны, и особенности микроэлементного состава, с другой, могут рассматриваться в качестве своего рода «паспортов» некоторых объектов, изучаемых в археологии. Ниже речь пойдет о том, как получают подобные «паспортные» данные для решения вопросов о происхождении археологических находок.

Изотопный состав ряда химических элементов (свинец, углерод, кислород и др.) варьирует в достаточно широких пределах. Разделение стабильных изотопов осуществляется в тех природных процессах, которые привели к формированию горных пород, минералов, руд. Установлено, что во многих случаях изотопные характеристики объектов, закрепленные в процессе их образования, в дальнейшем уже не меняются. Это позволяет использовать данные по изотопному составу для того, чтобы выявить черты сходства или различия у объектов с одним и тем же вещественным составом.

Ценность информации, получаемой при изучении изотопного состава свинца, обусловлена тем, что этот элемент часто сопутствует другим металлам, например серебру. О том, что дает для историков исследование изотопии свинца древних рудников, можно судить по первому приводимому нами сюжету.

Второй сюжет посвящен изотопии углерода и кислорода. Эти элементы относятся к породообразующим, они входят в состав мрамора. Оказалось, что изотопные характеристики являются природными метками мрамора, по которым идентифицируются месторождения, эксплуатировавшиеся в Древней Греции.

Следующие два сюжета касаются определения микроэлементного состава археологических объектов. В настоящее время к наиболее мощным инструментам, применяемым для исследования микропримесей, относится нейтронно-активационный анализ. Он будет рассмотрен после описания изотопных исследований.

Изотопы свинца рассказывают о бронзовом веке. С середины IV тысячелетия до нашей эры в восточном Средиземноморье, где соединяются три континента: Европа, Азия и Африка, начался важнейший историко-культурный период — бронзовый век. К этому времени приурочены находки древнейших бронзовых предметов в Иране, Турции, Сирии, Египте, Греции. Среди целого ряда цивилизаций, развивавшихся в восточной части Средиземного моря в эпоху бронзы, особое место занимает эгейская (крито-микенская) культура.

Металлургия бронзы совершила революцию в производстве орудий труда и оружия, вызвала коренные преобразования в социальной структуре общества. Множество людей занималось

добычей руд, их переработкой, изготовлением металлических изделий. До недавнего времени историки, изучавшие древнейшую металлургию, ограничивались, как правило, самой бронзой, точнее, двумя разновидностями медных сплавов, один из которых содержит мышьяк, а второй — олово. Исследовали и самородную медь, из нее делались примитивные орудия еще до начала века бронзы. Значительно меньше внимания уделялось другим металлам, которые играли в эпоху бронзы немаловажную роль. К таким металлам относится свинец.

Существуют указания на то, что первая плавленная человеком руда была не медной, а как раз свинцовой. Известно, что выплавка меди из руды требует довольно высокой температуры. Чтобы из рудных минералов, содержащих медь: халькопирита, азурита (или медной лазури), малахита и др., — извлечь металл, нужна температура не менее 1000 °С. Кроме того, сульфидные минералы меди, к которым относится, например, халькопирит, должны быть предварительно отожжены, чтобы снизить в них концентрацию мешающей серы. Совокупность этих требований делает маловероятным предположение о том, что выплавка меди была открыта случайно, когда люди развели костер на месте скопления одного из медных минералов. Археолог Лондонского университета Рональд Тайлкот ставил эксперименты с кострами из сухого дерева и древесного угля, пытаясь воспроизвести условия первых плавок. Даже когда принимались специальные меры, т. е. когда вокруг костра выкладывалось кольцо из камней и бралось топливо с максимальной теплотворной способностью, температура все же была значительно ниже точки плавления меди, которая равна 1083 °С. С другой стороны, часто встречающиеся руды свинца, например галенитовая, легко плавилась, так как точка плавления свинца всего 327 °С.

В археологических раскопках обнаружены свинцовые предметы, датированные VII и VI тысячелетиями до нашей эры. Надо иметь в виду, что в отличие от самородной меди самородный свинец очень редок, поэтому находки его в форме металла, да еще обработанного, безусловно говорят об искусственной плавке. В известном мезолитическом поселении Чатал-Гююк на территории современной Турции найдены свинцовые шарики и бусины, залегавшие в слое, сформировавшемся примерно 6,5 тыс. лет до нашей эры. Простейшие свинцовые предметы, относящиеся к VI тысячелетию до нашей эры, удалось отыскать в не менее известном поселении Ярым-Теппе в Ираке. Следовательно, свинцовые предметы намного старше бронзовых. Самые древние предметы из плавной меди обнаружены при раскопках неолитического поселения Теппе-Яхья в Иране, они датируются началом IV тысячелетия до нашей эры. Самые древние медные копии найдены на территории Югославии, они разрабатывались за 3 тыс. 700 лет до нашей эры.

Физико-химическое изучение древнего свинца способно дать

ценные сведения о культуре, складывавшейся более 5 тыс. лет назад. Замечательное свойство этого элемента — широкие вариации его изотопного состава. У природного свинца четыре стабильных изотопа, их массовые числа равны 204, 206, 207 и 208. Часть ядер изотопов ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb образовалась в результате радиоактивного распада, эти изотопы — конечные продукты в цепи превращений урана и тория. В рудах, содержащих свинец, всегда есть хотя бы очень малые количества названных радиоактивных элементов. В зависимости от концентрации урана и тория, а также от геологического возраста руд соотношения между свинцовыми изотопами принимают определенные значения, которые присущи лишь данному месторождению. При переходе от одного рудного района к другому изотопные характеристики свинца меняются. Так, изменения в величине отношения $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ могут достигать нескольких процентов. Однако даже очень слабые вариации изотопного состава свинца можно точно измерить с помощью масс-спектрометров.

Сформировавшийся еще в рудообразующих растворах или расплавах изотопный состав свинца остается постоянным, как только металл извлекается из руды. В процессе выплавки свинец отделяется от заключающихся в рудном веществе радиоактивных элементов, вследствие чего накопление радиогенных изотопов прекращается. Таким образом, металлический свинец приобретает свой изотопный «паспорт», сохраняющийся на протяжении всей его дальнейшей истории; соотношение между свинцовыми изотопами не меняется ни в металлургическом процессе, ни при механической обработке, ни при коррозии, ни при сплавлении с другими металлами.

В природных условиях свинец очень часто ассоциирует с серебром. Поэтому исследованием способов древней плавки свинцово-серебряных руд можно одновременно ответить и на вопрос о том, как и где были получены первые серебряные слитки. Серебро древнейших изделий всегда содержит примесный свинец, изотопный состав которого прямо указывает на рудный источник и, следовательно, на происхождение драгоценного металла.

Значение исследования серебра по сопутствующему свинцу трудно переоценить. Люди освоили этот драгоценный металл, по-видимому, вместе с медью. Первые серебряные изделия найдены при раскопках неолитических захоронений в Ливане, там обнаружено более 200 примитивных предметов, датируемых серединой IV тысячелетия до нашей эры. Известны находки серебряных предметов и в других странах Ближнего Востока и Турции, они относятся к концу IV тысячелетия. С III тысячелетия до нашей эры серебро появилось в Египте, после чего оно широко распространилось по всему миру. Свинцовые примеси в серебряных предметах не только позволяют узнать место добычи руды, но также и указывают на контакты между древними цивилизациями, на первый опыт международной торговли.

Начиная с 1974 г. англо-немецкая экспедиция обследовала 31 район проявления свинцово-серебряной минерализации. Ни один из них не представляет промышленного значения для современной Греции, все месторождения давно истощены. Ученым нужно было точно узнать, когда они интенсивно разрабатывались, где именно трудились шахтеры бронзового века. Во многих местах наблюдались следы от античных орудий, кое-где нашлись даже остатки самих орудий. Но датирование горных копей по орудиям или по оставленным ими следам ненадежно. Орудия для проходки совершенствовались очень медленно. Если ориентироваться только на них, то можно спутать рабочие места шахтеров III и I тысячелетий до нашей эры.

Имелись, однако, объекты, позволившие уверенно датировать пройденные шахты и галереи. Во-первых, это были остатки древесного каменного угля. Ученые установили, что типичным способом разрушения горных пород было их нагревание жаром разведенного костра с последующим резким охлаждением водой. Кроме того, костры устраивались и для другой цели — вентиляции; согретый внизу шахты воздух вызывал его движение. Во-вторых, в шахтах встречались керамические черепки, возможно, от ламп, освещавших подземелья.

Древесный уголь хорошо датируется по радиоуглероду, а керамические черепки — по термолюминесценции. С помощью этих методов из множества рудников удалось выделить наиболее ранние. Сначала такие рудники были идентифицированы на острове Сифнос в районе мыса Агиос-Состис. Для найденных там двух черепков метод термолюминесценции дал результат 2590 ± 440 лет до нашей эры. Для остатков древесного угля в этой же галерее, исследованных радиоуглеродным методом, получили согласующиеся с предыдущими цифры: 2970 ± 180 и 2610 ± 50 лет до нашей эры.

Выяснилось, что довольно обширная часть территории Сифноса буквально пронизана подземными горными выработками бронзового века. Здесь было много свинцово-серебряной руды, иногда с значительной примесью сурьмы. Сейчас от руды сохранились лишь едва заметные следы. В непосредственной близости от мест добычи располагались плавильные печи. Рядом с их остатками был найден глет — окись свинца, следовательно, здесь серебро отделяли от свинца.

Надо заметить, что тщательному изучению античных выработок сильно мешали поздние шахты. Они, как правило, были проложены в XIX в., когда на острове Сифнос началась интенсивная добыча железо-марганцевых руд. Эти руды совсем не интересовали старателей бронзового века, часто их подземные выработки шли через мощные, богатые железом и марганцем пласты к относительно скромным «карманам» со свинцом и серебром.

После Сифноса были исследованы Лаврион и несколько Кик-

ладских островов: Сирос, Антипарос, Серифос, Наксос и др. В каждом рудном районе изучили изотопный состав свинца. Результаты изотопного анализа показали, что любой рудный район характеризуется своими значениями отношений $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. На диаграмме, отражающей связь этих изотопных отношений, наметились, как видно из рис. 14, а, непере-

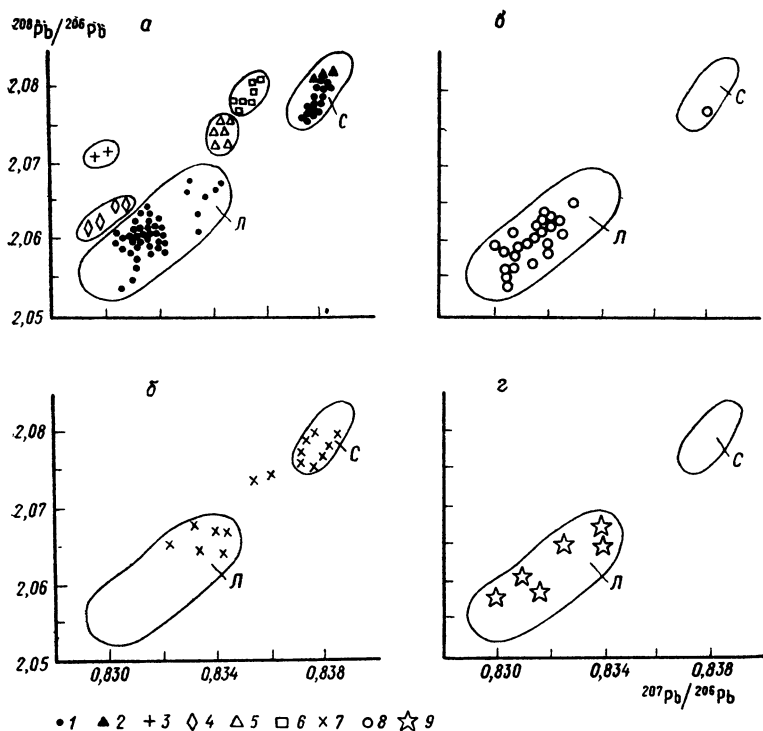


Рис. 14. Результаты изотопного исследования свинца древних рудников (а) и античных изделий (б, в, г) [42].

Руды: 1 — Лавриона; 2 — Сифноса; 3 — Наксоса; 4 — Серифоса; 5 — Сироса; 6 — Антипароса. Изделия: 7 — раннекикладской культуры; 8 — острова Фера; 9 — Египта. С и Л — изотопные поля руд Сифноса и Лавриона.

крывающиеся поля, отвечающие особенностям той или иной руды. Эти поля и послужили в дальнейшем для определения источников свинца, попавшего в данный предмет. По диаграмме, представленной на рис. 14, а, можно заключить, что генезис руд Лавриона и острова Сифнос, где были в основном сосредоточены рудники эпохи бронзы, существенно различается, поскольку их изотопные поля удалены друг от друга. Когда в найденных остатках руд измерили концентрацию серебра, то самыми богатыми оказались как раз районы Лаврион и Сифнос,

содержание драгоценного металла составляло здесь несколько килограммов на тонну руды.

Первыми изделиями, подвергнутыми изотопному анализу, были четыре лодочки, найденные в захоронении на одном из островов Кикладского архипелага — Наксосе. В свое время они были переданы Оксфордскому музею выдающимся исследователем эгейской культуры Артуром Эвансом. По археологическим данным их относили к раннему периоду кикладской культуры,* длившемуся приблизительно с 3400 до 2900 г. до н. э. Изотопные характеристики свинца, а также довольно высокое содержание сурьмы однозначно указывали на источник металла — остров Сифнос. Это было решающим доказательством того, что горное дело на острове Сифнос, связанное с добычей свинцово-серебряных руд, началось на самом раннем этапе бронзового века.

Установленные факты были неожиданными. До них считалось, что ни в IV, ни в III тысячелетии до нашей эры обитатели Аттики и островов Эгейского моря не добывали своего серебра, а получали его либо с востока — из Малой Азии, либо же с запада — с Иберийского полуострова, на котором находится современная Испания.

Дальнейшая программа изотопных исследований охватывала разнообразные предметы раннекикладской культуры из музеев Лондона, Ливерпуля, Оксфорда и Афин. Музейных экспонатов, уверенно относимых к этому периоду (их возраст должен составлять не менее 5 тыс. лет), немного. В число серебряных изделий входят две диадемы, тринадцать браслетов, семь блюд, два ожерелья, пять булавок. Свинцовых предметов той же эпохи еще меньше: есть три фигурки, три гири для весов, несколько заклепок для починки керамических сосудов и разрозненные фрагменты. Все это было найдено на восьми Кикладских островах, главным образом при раскопках могильников, и сопровождалось, как правило, характерными для той поры керамическими изделиями, мраморными фигурками и различными предметами из бронзы.

Музейные работники разрешили Ноэлю и Софи Гэйл взять небольшие, по несколько миллиграммов, кусочки из 16 серебряных и свинцовых предметов раннекикладской культуры. Изотопный анализ свинца дал простую картину, изображенную на рис. 14, б. Восемь предметов оказались сделанными из металла, добытого на Сифносе, шесть — из металла Лавриона, т. е. из рудников на материке. Металл остальных двух предметов связан с источником, который пока не может быть идентифицирован с достаточной точностью. Любопытно, что хотя остатки свин-

* На основе различий в культурных традициях Греции эпохи бронзового века в эгейской культуре по географическому принципу выделяют минойскую (остров Крит), элладскую (материковая Греция) и кикладскую культуру (острова Эгейского моря).

свинцово-серебряных месторождений были обнаружены еще на шести, кроме Сифноса, Кикладских островах (при этом на Сиросе и Серифосе не только установлено наличие в прошлом руд, богатых серебром, но и найдены отчетливые следы труда шахтеров, датируемые бронзовым веком), тем не менее, изотопы свинца указывали лишь два источника серебра и свинца, дававших главную массу обоих металлов в ранний период кикладской культуры.

Расширилась ли географическая сеть интенсивно эксплуатировавшихся свинцово-серебряных рудников позже, в середине бронзового века? Для ответа на этот вопрос были привлечены свинцовые вещи, найденные при раскопках в Акротири на острове Фера, маленьком острове к северу от Крита. Около 1470 г. до н. э. здесь произошла тектоническая катастрофа, сопровождавшаяся мощным извержением вулкана. Акротири можно назвать Помпеей бронзового века, поселение было полностью засыпано вулканическим пеплом. Раскопки открыли множество домов, украшенных лепкой и фресками, правильную планировку улиц, канализационную систему. До катастрофы цивилизация на острове Фера достигла высокого уровня, его жители построили порт и, по-видимому, вели обширную торговлю. Добывались здесь и руды, на это указывают остатки свинцово-серебряной минерализации. По обнаруженному глету можно предполагать, что серебро отделялось от свинца способом, напоминавшим купелирование.

Но изотопный анализ свинца 24 предметов с острова Фера показал, что ни один из них не был сделан из металла, добытого в местных копях. Как и прежде, свинец принадлежал тем же двум источникам: Лавриону и Сифносу. Только теперь распределение объектов по двум разновидностям свинца было резко неравномерным. Точки, соответствующие 23 предметам, попали в поле изотопных характеристик Лавриона, и лишь одна точка оказалась в поле Сифноса (см. рис. 14, в). Видимо, жители Феры предпочитали импортировать металл из мест, завоевавших определенный престиж. Кроме того, напрашивался вывод, что к середине бронзового века часть рудных залежей на острове Сифнос порядком истощилась.

После того как был исследован металл с маленькой Феры, наступил черед ее большого соседа — острова Крит. На Крите сложилась собственная культура (ее называют минойской), которая достигла расцвета в середине бронзового века. Крит также пострадал от тектонической катастрофы, были разрушены знаменитые дворцы в Кносе. Интересно, что если при раскопках на Кикладских островах свинец и серебро попадают часто, а золото — очень редко, то раскопки на Крите характеризуются обратным соотношением. Среди всех находок металлических вещей на Крите, датируемых ранним бронзовым веком, только 3% составляют серебряные и свинцовые предметы, причем все

они относятся к северной части острова, обращенной к Кикладским островам. Своих копей, в которых могли бы добываться серебро и свинец, на Крите не обнаружено. Естественно, что создатели минойской цивилизации вынуждены были ввозить эти металлы. Казалось бы, поскольку ближе всего к Криту расположены Киклады, именно с них должны были поступать серебро и свинец. Похоже, однако, что было не так, во всяком случае, свинцовые изотопы говорят о другом источнике металлов.

На изотопный анализ были направлены образцы 22 предметов, преимущественно серебряных, представлявших два знаменитых в прошлом города на Крите — Кнос и Коммос. Возраст предметов охватывал широкий диапазон, примерно с 2150 до 1300 г. до н. э., сюда входил и так называемый период вторых дворцов, заново построенных после губительного землетрясения. Оказалось, что металл 17 предметов принадлежит рудникам Лавриона, и только двух — рудникам Сифноса. Металл трех предметов остался неопознанным. Следовательно, и Крит в период своего расцвета покупал серебро и свинец главным образом на материке, хотя морской путь до другого источника, Сифноса, в два раза короче. Это же подтверждает и ранее установленный факт снижения экономического значения сифноских месторождений к середине бронзового века.

Таким образом, постепенно специалисты пришли к выводу: несмотря на обилие свинцово-серебряных залежей на островах Кикладского архипелага, более 16 столетий господствовал один рудный район — Лаврион, обеспечивавший металлами обширную территорию эгейской культуры эпохи бронзы.

Чтобы судить о том, продолжалась ли и позднее интенсивная разработка копей Лавриона, в качестве объектов исследования были взяты археологические находки из нескольких мест материковой Греции: Аттики, Лаконии, Арголиса. Возраст этих находок перекрывал интервал от 1700 до 1100 г. до н. э. Свинец всех без исключения вновь изученных предметов по изотопному составу не отличался от свинца Лавриона. Значит, его месторождения давали металл еще в течение нескольких веков.

Особый интерес вызывал металл из знаменитых шахтных могил Микен. Погребения царских семей в Микенах обнаружил в XIX в. Генрих Шлиман, это были большие колодцеобразные могилы, заполненные огромным количеством драгоценностей. Подавляющую часть их составляли золотые и серебряные изделия, но было несколько вещей и из свинца. Погребения датировались приблизительно 1550 г. до н. э. О происхождении микенских сокровищ много спорили. Одни археологи утверждали, что все вещи исконно микенские, другие полагали, что они привезены с Крита и представляют собой трофеи, захваченные микенянами в дерзких морских набегах на этот остров. Но отдельные историки отдавали предпочтение версии, по которой

сокровища попали в Микены из Египта. Известно, что Египет времен бронзового века был богат золотом, но беден собственным серебром, а оно там очень высоко ценилось. Может быть, золотые маски и многочисленные украшения из золота, найденные в шахтных могилах, прибыли в Микены в обмен на греческое серебро?

Результаты изотопного исследования показали, что предположение о таком обмене весьма правдоподобно. Точки, отвечающие содержаниям изотопов примесного свинца серебряных украшений микенских царей, снова легли на диаграмме соотношений между $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в поле Лавриона. Это закономерно, так как вблизи самих Микен месторождений серебра не было; ясно, что микеняне приобретали драгоценный металл у своих греческих соседей. Из шести серебряных египетских предметов, представленных в изотопных исследованиях, три датируются XVIII династией фараонов (приблизительно 1570—1293 гг. до н. э.), они найдены в Амарне (там, где располагалась столица Аменхотепа IV Эхнатона, женой которого была Нефертити) и в Абидосе. Четвертый предмет относится к X династии (2175—2135 гг. до н. э.), пятый — к XI династии (2135—1991 гг. до н. э.), шестой — к XII или XIII династии фараонов (1991—1668 гг. до н. э.). Во всех случаях источником свинца, а значит, и серебра оказался тот же Лаврион (см. рис. 14, г). Это обстоятельство не дает прямого ответа на вопрос о происхождении золота царских могил в Микенах, но безусловно свидетельствует о том, что серебро лаврионских рудников поступало в Египет как до, так и после 1550 гг. до н. э. — даты сооружения микенских памятников. Вполне возможно, что часть лаврионского серебра шла в Египет через Микены.

Итак, вырисовывается довольно четкая ситуация. Из всех многочисленных месторождений и рудопоявлений обитатели материковой Греции и островов Эгейского моря на протяжении ряда веков эпохи бронзы использовали в основном лишь два рудных района — Лаврион и Сифнос, причем месторождения в первом районе были богаче, чем во втором. По сравнению со всеми остальными руды Лавриона характеризовались максимальным содержанием драгоценного металла. Если учесть, что несколько тысяч лет назад добыча руд, их плавка и последующее отделение серебра от свинца требовали больших затрат человеческого труда и топлива, то можно понять стремление античных горняков и металлургов иметь дело с рудами, максимально обогащенными серебром. Их нелегкая работа увенчивалась успехом, Древняя Греция обеспечивала себя собственным серебром. Изотопный «паспорт» примесного свинца в серебряных предметах опровергает мнение о том, что создатели элладской, минойской и кикладской культур вынуждены были импортировать драгоценный металл из стран Малой Азии.

Все вышеуказанное иллюстрирует высокую эффективность

нового способа изучения древних изделий из металла. Пусть обследованный до сих пор металл ограничен конкретным регионом и определенной временной эпохой. Сфера приложения изотопного метода будет, несомненно, расширяться. Уже доказана возможность исследования по микровключениям свинца не только серебряных, но и бронзовых предметов [42]. Физическая сущность изотопного анализа свинца и точнейшие измерительные приборы гарантируют достоверность сведений, предоставляемых в распоряжение археологов и историков.

Изотопные метки древнегреческого мрамора. Невозможно представить себе Древнюю Грецию без мрамора. Величественные здания и целые архитектурные ансамбли, прекрасные статуи и статуэтки, надгробия и стелы — все это изготовлено еще до нашей эры из замечательного камня, которым издавна славилась Греция. В античные времена греки добывали мрамор как на материке, так и на островах. И сейчас в Греции есть карьеры, где разрабатывают эту ценную горную породу. Но почти все древние месторождения давно заброшены, остались лишь следы многочисленных каменоломен, и некоторым из них более 25 веков.

Перед археологами и историками, изучающими культуру Древней Греции, давно стоит вопрос о средствах надежной идентификации источника мрамора, использованного при изготовлении того или иного объекта. Определить происхождение мрамора бывает необходимо при исследовании, например, нескольких копий статуи и для выявления подделок, как современных, так и античных. Кроме того, древнегреческие предметы нередко находят при раскопках в других странах, особенно в Италии; известно, что в Древнем Риме высоко ценили мраморные греческие статуи и привозили их туда тысячами. Не удивительно, что в подобных случаях сведения об источнике материала весьма актуальны. Наконец, происхождение мрамора интересует специалистов, которые реконструируют памятник из разрозненных фрагментов.

С помощью тонкого физического метода — масс-спектрометрии — удалось установить, что мрамор характеризуется природной меткой, которая приносит большую пользу археологам. Функцию такой метки выполняет соотношение между изотопами двух химических элементов, входящих в состав мрамора.

Химический состав мрамора прост, у него лишь три породообразующих элемента: кальций, углерод и кислород. Углерод и кислород во всех природных объектах могут быть «облегченными» или, наоборот, «утяжеленными». Элемент «тяжелее», если в нем повышается содержание более тяжелого изотопа за счет легкого. Работа Хармона и Валери Крэггов, выполненная в Калифорнийском университете, доказала, что мрамор каждого месторождения Древней Греции имеет свои, только ему присущие особенности изотопного состава углерода и кислорода [29].

У углерода два стабильных изотопа: ^{12}C и ^{13}C . Средняя концентрация более легкого изотопа ^{12}C равна 98,9%, а более тяжелого ^{13}C — 1,1%. Таким образом, среднее отношение $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ близко к 90, крайние же значения этого отношения в различных земных объектах составляют 86 и 98. Известен целый ряд природных процессов, в результате которых происходит так называемое фракционирование изотопов, изменяющее соотношение между изотопами элементов. Эти процессы протекают и при образовании горных пород.

Изотопный состав углерода принято характеризовать относительной величиной $\delta^{13}\text{C}$, определяемой выражением

$$\delta^{13}\text{C} = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{обр}} / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{станд}} - 1] \cdot 100 (\%),$$

где $(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{обр}}$ — изотопное отношение в исследуемом образце; $(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{станд}}$ — изотопное отношение в стандарте, в качестве которого выбран карбонат кальция белемнитовой окаменелости одной из геологических формаций США (стандарт PDBI). Отрицательные значения ^{13}C говорят о дефиците изотопа ^{13}C в данном образце, т. е. о его сравнительном обогащении легким изотопом ^{12}C . В различных объектах $\delta^{13}\text{C}$ колеблется от 6 до -10% .

Кислород имеет три стабильных изотопа: ^{16}O , ^{17}O и ^{18}O . В атмосферном кислороде концентрации этих изотопов равны соответственно 99,759; 0,0371 и 0,2039%. При изучении изотопного состава кислорода измеряют обычно лишь концентрации ^{16}O и ^{18}O . Вариации изотопного состава кислорода в природных объектах выражают через относительную величину $\delta^{18}\text{O}$, определяемую формулой

$$\delta^{18}\text{O} = [(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{обр}} / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{станд}} - 1] \cdot 1000 (\text{‰}),$$

где $(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{обр}}$ — изотопное отношение в исследуемом образце; $(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{станд}}$ — изотопное отношение в стандарте, в качестве которого выбирают океаническую воду (стандарт SMOW) или уже упоминавшуюся белемнитовую окаменелость (стандарт PDBI).

Соотношения между количествами ядер изотопов каждого типа могут измеряться с очень высокой точностью масс-спектрометрами. Иллюстрацией этой точности служит определение семи знаков после запятой при измерении отношения изотопов углерода в карбонате кальция белемнита — стандарте PDBI: $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 0,0112372$.

Х. и В. Крэги собрали для изотопного исследования коллекцию образцов мрамора из карьеров и шахт четырех главных месторождений, служивших в Древней Греции источниками материала при возведении зданий и изготовлении статуй. Два месторождения расположены на островах Наксос и Парос, а два других — на горах Пентеликон и Гиметтус, неподалеку от Афин. На острове Наксос находятся самые старые карьеры,

они разрабатывались уже в VII в. до н. э. Здесь выделяются две группы карьеров, которые относятся к разным геологическим формациям. Остров Парос славился самым лучшим мрамором, отсюда его брали преимущественно для статуй. Открытых карьеров на острове не было, мрамор добывали в шахтах. Основная масса ценной горной породы была извлечена из недр острова Парос в VI и V вв. до н. э. Месторождения вблизи Афин использовались в более поздние времена. Так, гора Пентеликон давала античным мастерам материал в течение нескольких столетий, начиная с конца V в. до н. э. и вплоть до упадка Римской империи. Для изотопного анализа были взяты образцы из восьми карьеров этой горы и семи карьеров горы Гиметтус.

На каждом месторождении стремились охватить возможно большую площадь по простиранию и максимальную глубину залегания мраморных пластов, этим обеспечивалась представительность изучаемой выборки, образцы которой отражали максимальную изменчивость мрамора в пределах данного источника. Кроме мрамора из античных карьеров были приготовлены образцы из пьедесталов статуй и оснований колонн, находящихся в Афинах и других греческих городах. Для анализа нужны были образцы массой лишь в несколько десятков миллиграммов, и эти объекты несколько не пострадали.

Сделанные на масс-спектрометре измерения позволили подсчитать для каждого образца величины показателей, характеризующих изотопный состав углерода и кислорода: $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Эти величины свидетельствовали, что каждое месторождение обладает собственными признаками, выявляющими определенное соотношение между изотопами указанных элементов и отражающими местные геохимические условия образования мраморных пластов. Если на координатных осях отложить значения показателей $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, то соответствующие проанализированным образцам точки расположатся на диаграмме так, что каждое месторождение займет свое поле. Как видно из рис. 15, поля месторождений не перекрываются, следовательно, основные разновидности древнегреческого мрамора можно различать при помощи надежно измеряемых количественных характеристик. Диаграмма (см. рис. 15) обнаруживает также, что месторождение на острове Наксос является сложным, оно включает две разновидности мрамора, отличающиеся друг от друга по величине $\delta^{18}\text{O}$. Для части образцов, представлявших античные памятники скульптуры или архитектуры, удалось установить происхождение мрамора, соответствующие точки попали на диаграмме в определенное поле.

По сравнению с другими методами изотопный анализ имеет явные преимущества. Определить вид древнегреческого мрамора можно и иным путем. Опытный специалист обычно распознает мрамор по свежему сколу достаточно большого образца, имен-

но в таком сколе обнаруживается, например, своеобразная мелкозернистость, свойственная паросскому мрамору. Но в археологическом объекте, как правило, приходится иметь дело с по-

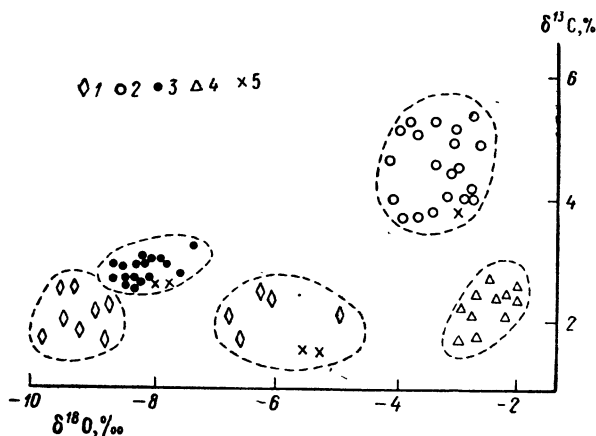


Рис. 15. Результаты изотопного исследования углерода и кислорода в древнегреческом мраморе [29].

1—4 месторождения (1 — остров Наксос; 2 — остров Парос; 3 — гора Пентеликон; 4 — гора Гиметтус); 5 — образцы из памятников.

лированной поверхностью, а по ней судить трудно. Предпринимались попытки выявить особенности распределения примесных элементов в мраморе, которые были бы способны характеризовать то или иное месторождение. Однако вариации в содержании примесных элементов, таких, как натрий или марганец, оказались слишком большими на отдельных месторождениях. Это не позволяет использовать примесные элементы для описания видов мрамора. Возможно, впрочем, что такое описание станет реальным после более детального изучения распределения в мраморе широкого круга редких и рассеянных элементов.

Чувствительность и точность масс-спектрометрического метода определения изотопного состава вещества обуславливают высокую степень его информативности, необходимую для надежной идентификации мрамора при решении археологических задач. Кроме того, применение изотопного анализа требует очень немного материала, что также немаловажно для ученых, исследующих уникальные античные памятники.

Можно добавить, что на горе Пентеликон, расположенной в 18 км к северо-востоку от Афин, есть и ныне эксплуатируемые мраморные карьеры. По изотопному составу углерода и кислорода мрамор этих карьеров отличается от мрамора античных карьеров. Интересна одна деталь. Каждую зиму администрация, ведающая в Афинах охраной памятников, распоряжается

доставить из отходов карьеров горы Пентеликон несколько грузовиков с мелкими кусками мрамора и рассыпать их перед Парфеноном и другими наиболее посещаемыми достопримечательностями Акрополя. За туристский сезон миллионы человек осматривают афинский Акрополь, и десятки тысяч из них увозят эти кусочки в качестве сувениров. Из проводимого мероприятия секрета не делается, все знают, что мрамор разбрасывают специально, но все равно подбирают. Пока мрамор на горе Пентеликон еще есть.

Нейтронно-активационный анализ. Выше шла речь о результатах, которые получают археологи и историки, применяя самые разнообразные высокоточные физические методы для разрешения загадок, связанных с находками. Как нам кажется, настало время остановиться на сути нейтронно-активационного анализа — возможно, самого мощного инструмента в руках исследователей.

Ядра атомов большинства элементов легко поглощают нейтроны, особенно если скорость последних не очень велика. Это свойство атомных ядер и лежит в основе нейтронно-активационного анализа. В результате поглощения нейтронов ядрами чаще всего испускаются мгновенные гамма-лучи, поэтому такую ядерную реакцию называют радиационным захватом нейтронов и обозначают через (n, γ) .

Радиационный захват нейтронов приводит, как правило, к образованию радиоактивных ядер. Иначе говоря, увеличение числа нейтронов в ядре на единицу делает его нестабильным. Так, при поглощении нейтронов ядрами золота: $^{197}_{79}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ — возникает радиоактивный изотоп ^{198}Au с периодом полураспада 2,7 дня.

Количество данного радиоактивного изотопа, образующегося в веществе при облучении нейтронами, прямо пропорционально количеству его стабильного предшественника и, следовательно, служит мерой содержания элемента в анализируемом объекте. Например, чем выше концентрация примесного золота, тем больше возникает радиоактивных ядер ^{198}Au .

Активация нейтронами ведет преимущественно к появлению β -активных ядер. В результате β -распада дочернее ядро может оказаться не только в основном, но и в возбужденном состоянии. На рис. 16 представлена схема β -превращения радиоактивного золота: изотоп ^{198}Au , испуская β -лучи, превращается в стабильный изотоп ртути, ядра

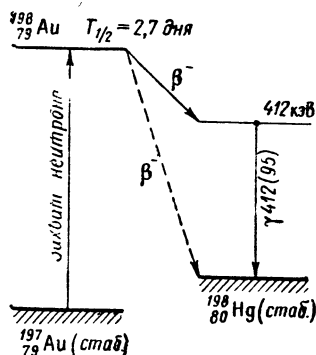


Рис. 16. Упрощенная схема образования и распада изотопа золота при захвате нейтрона.

которого в большинстве случаев возбуждены до энергии 412 кэВ. Снятие возбуждения сопровождается излучением фотонов с энергией 412 кэВ. Очевидно, что чем больше содержание золота, тем выше активность изотопа ^{198}Au и тем интенсивнее будут γ -лучи с указанной энергией.

Важно, что каждый сорт радиоактивных ядер характеризуется собственной энергией гамма-излучения, сопутствующего β -распаду. Это обеспечивает возможность избирательного определения одного или нескольких элементов. Обычно регистрируют гамма-лучи объектов, активированных нейтронами, в широком диапазоне энергии, вследствие чего получаемый гамма-спектр содержит информацию о концентрациях целого ряда химических элементов.

Чувствительность нейтронно-активационного анализа непосредственно связана с величиной потока нейтронов, облучающих исследуемый объект. Плотность этого потока выражают числом нейтронов, проходящих каждую секунду через каждый квадратный сантиметр облучаемой поверхности. В современном нейтронно-активационном анализе используются очень интенсивные потоки, их плотность достигает 10^{13} — 10^{14} нейтронов на квадратный сантиметр в секунду. Это гарантирует высокую чувствительность метода: содержания многих элементов могут быть измерены на уровне миллиардных долей грамма.

Высокая чувствительность позволяет анализировать с помощью нейтронов крайне малые образцы. Так, при изучении мономинеральных фракций лунных пород использовались образцы массой в несколько микрограммов. В то же время нейтронно-активационный анализ может проводиться без разрушения образца, что особенно ценно при исследовании уникальных объектов.

По сравнению с другими аналитическими методами в нейтронно-активационном анализе намного меньше влияние так называемого матричного эффекта. Это означает, что на определении примесных элементов практически не сказываются макроэлементы, составляющие основу веществ. Иными словами, нейтронно-активационному методу доступно измерение содержания микроэлементов в самых разнообразных материалах. Подтверждение этому можно найти в многочисленных результатах, рассматриваемых ниже.

Европий указывает место «рождения» колоссов Мемнона. Выдающейся достопримечательностью Фив, древней столицы Египта, является грандиозный храмовый ансамбль фараона Аменхотепа III, правившего в XV в. до н. э. Ансамбль составляют две огромные (пятнадцатиметровые!) статуи сидящего фараона, группа меньших по размерам скульптурных изображений членов его семьи и пышный заупокойный храм. Этот храм просуществовал недолго, сейчас от него остались лишь руины. От храма к Нилу шла аллея сфинксов, два из которых

ныне находятся в Ленинграде, на Университетской набережной.

Еще в древности статуи-колоссы в Фивах стали знаменитыми и потому, что неожиданно одна из них приобрела загадочное свойство. В 27 г. до н. э. в результате сильного землетрясения верхняя часть северной статуи обрушилась. И вскоре было замечено, что рано утром, как только первые лучи солнца падали на поврежденную статую, она начинала звучать. Сохранились многочисленные свидетельства очевидцев, слышавших в издаваемых колоссом звуках якобы человеческие голоса и даже мелодии, как будто бы исполнявшиеся на различных музыкальных инструментах. Впоследствии «поющую» статую стали считать изображением царя Эфиопии Мемнона, который, согласно древнегреческой мифологии, был сыном Эос, богини утренней зари. Мемнон — один из героев гомеровской «Илиады», в битве за Троию он пал от руки Ахилла. Древние верили, что воплощенный в камне Мемнон каждое утро приветствует свою мать.

Много внимания уделялось фиванскому колоссу Мемнону в античные века. Из Греции и Рима в Фивы снаряжались специальные экспедиции, чтобы послушать и зафиксировать все, «произнесенное» колоссом. «Услышанное» нередко подвергалось «творческой переработке» и для передачи потомкам гравировалось на пьедестале статуи. На нем появились стихотворения и поэмы как на древнегреческом, так и на латинском языках. В начале II в. н. э. посмотреть и послушать «говорящую» и «поющую» статую приезжал римский император Адриан. Другой римский император, Септимий Север, решил отремонтировать фиванского колосса. По его приказу нашли камень, сходный с материалом оригинала, выпилили блоки и сложили новый верх колосса. Но акустический эффект сразу исчез, с начала III в. н. э. статуя замолчала навсегда. Причина странного явления так и осталась неустановленной.

А вот еще на одну загадку из истории фиванских колоссов ученые нашли правильный ответ. Эта загадка заключала вопрос, где был взят камень для статуи. Основным материалом, использованным древними египтянами при сооружении погребального комплекса Аменхотепа III, послужил железистый кварцит. Он отличается высокой твердостью и в то же время хорошо поддается полировке. С другой стороны, железистый кварцит часто неоднороден по структуре, поэтому трудно найти многометровый монолит, пригодный для изготовления большой скульптуры. Между тем каждая из двух огромных статуй в Фивах сделана из монолита. В Египте известно несколько месторождений железистых кварцитов, однако сравнительно однородный камень характерен не для всех из них. Специальные исследования показали, что только восемь карьеров могут рассматриваться в качестве возможных источников материала для колоссов Мемнона. Разные историки по очереди отдавали предпочтение тому или

иному карьеру, выдвигались аргументы в пользу каждого из них, кроме наиболее удаленного. Самый близкий кварцитовый карьер находится в 97 км от Фив, вверх по течению Нила (около городка Эдфу), а самый дальний — в 676 км, вниз по течению, около современного Каира.

Исходя из размеров статуй, нетрудно подсчитать их массу. Каждая статуя весит приблизительно 720 т. Нет никаких исторических записей, которые говорили бы, откуда и как колоссы были доставлены в Фивы. Историки считают, что в любом случае основная часть пути пролегла по Нилу, для этого, вероятно, строились большие баржи. Но так как ни один из карьеров не расположен прямо на берегу, приходится предполагать, что для транспортировки статуй по суше сооружались гигантские деревянные салазки. Салазки тянули люди, число их, по разным оценкам, составляло от 4 до 15 тыс. Баржи с грузом также приводились в движение людьми — гребцами и «бурлаками», каждая баржа требовала не менее 2 тыс. человек.

Поскольку самый близкий кварцитовый карьер расположен выше Фив по течению Нила, легче всего было бы доставить статуи оттуда. Чтобы везти их из наиболее удаленного карьера, пришлось бы пройти путь в семь раз длиннее и двигаться против течения. Казалось невероятным, чтобы древние египтяне выбрали для скульптур камень из самого дальнего карьера. Однако нейтронно-активационный анализ кварцита обнаружил, что это именно так.

Исследование материала фиванских колоссов и камня из различных карьеров Египта было проведено в 1972—1973 гг. физиками И. Перлманом, Ф. Азаро и Г. Боуменом в радиационной лаборатории Калифорнийского университета [50]. С помощью нейтронного излучения было проанализировано свыше 100 образцов, представлявших восемь карьеров и несколько статуй, причем не только Аменхотепа III, но и (для контроля) других фараонов, в частности Рамзеса II в Мемфисе. Подавляющее число образцов из Фив относилось к звучавшей в прошлом северной статуе, но южная статуя также исследовалась достаточно детально. Изучавшиеся карьеры с кварцитами находятся на таких расстояниях от Фив:

- карьер Джебел-эль-Ахмар, близ Каира, — 676 км к северу;
- карьер Е-1, в 9 км севернее Эдфу, — 97 км к югу;
- карьер Е-2, в 8 км севернее Эдфу, — 98 км к югу;
- карьер Е-3, в 8 км южнее Эдфу, — 114 км к югу;
- карьер Силсилех — 148 км к югу;
- карьер Джебел Осман, у Асуана, — 214 км к югу;
- карьер Осман Валли, у Асуана, — 214 км к югу;
- карьер Джебел Симеон, у Асуана, — 214 км к югу.

Каждый образец представлял собой кусок кварцита массой около 3 г. Его раскалывали, и фрагменты, относившиеся к по-

верхности, выбрасывали, этим устранялось возможное влияние выветривания. Остальные фрагменты измельчали, перемалывали и отвешивали 100 мг порошка. К навеске добавляли немного целлюлозы и прессовали, получалась готовая для анализа компактная таблетка. Вместе с образцами стандартных горных пород образцы из Египта отправлялись на облучение нейтронами в исследовательский ядерный реактор Калифорнийского университета. Затем измерялись гамма-спектры активированных образцов, и по пикам аналитических гамма-линий определялись концентрации химических элементов.

Гамма-спектры всех без исключения образцов, представлявших колоссов Мемнона, отличались существенной особенностью — низкой интенсивностью излучения радионуклида европия ^{152}Eu . Европий занимает среди химических элементов одно из первых мест по способности захватывать нейтроны и, следовательно, становиться радиоактивным. Поэтому в спектрах излучения объектов, побывавших в мощном потоке нейтронов, наблюдается, как правило, несколько интенсивных линий, связанных с распадом нуклида ^{152}Eu . В спектрах же образцов гигантских статуй из Фив таких линий не было. Объяснение могло быть единственным: анализируемые объекты характеризуются резким дефицитом европия.

Действительно, когда произвели подсчеты, то оказалось, что во всех образцах кварцита фиванских статуй европия меньше одной стотысячной доли процента! Европий входит в группу редкоземельных элементов, его вообще крайне немного в земной коре, в несколько раз меньше, чем, например, урана. Известно, что средние концентрации европия в горных породах типа базальта составляют $1 \cdot 10^{-4}\%$, в породах типа гранита — $1,5 \cdot 10^{-4}\%$. Содержание же этого элемента в исследованных образцах было на порядок с лишним ниже. Таким образом, материал статуй бесспорно обладал определенной природной меткой, представляющей собой четко выраженную обедненность европием. Как установлено, подобная отрицательная европиевая аномалия не так уж редко проявляется в природных условиях и связана с тем, что в конкретной геохимической обстановке, при образовании данного массива горных пород, европий может изменить валентность и отделиться от соседей-лантаноидов. Следовательно, если в образцах кварцита из какого-либо карьера обнаружится сходный дефицит европия, то это будет прямым указанием на источник материала для колоссов Мемнона.

Результаты нейтронно-активационного анализа образцов кварцита были однозначными: кварцит единственного карьера обладает точно такой же природной меткой, что и камень статуй из Фив. Рис. 17 показывает, что во всех образцах из карьера Джебел-эль-Ахмар содержание европия совпадает с его концентрацией в образцах из колоссов. Точки на диаграмме, представляющей результаты анализа кварцитов, располагаются так,

что можно провести граничную линию, параллельную вертикальной оси и соответствующую концентрации европия $1 \cdot 10^{-5}\%$, эта линия отсекает данные по карьере Джебел-эль-Ахмар от всех других.

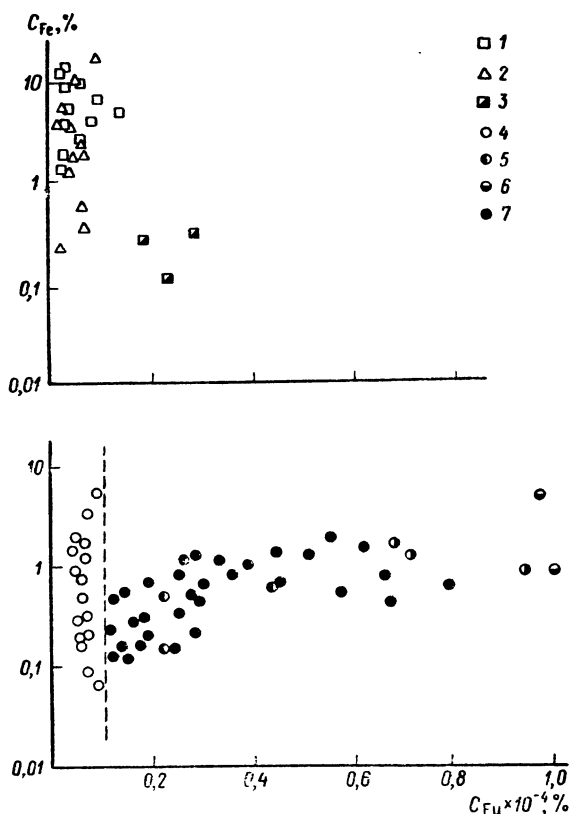


Рис. 17. Содержания европия и железа, определенные нейтронно-активационным методом, в образцах материала статуй Мемнона (вверху) и в образцах кварцита из разных карьеров Египта (внизу) [50].

1 — северная статуя; 2 — южная статуя; 3 — часть северной статуи, восстановленная при Септимии Севере. Карьеры: 4 — Джебел-эль-Ахмар, у Каира; 5 — у Эдфу; 6 — Силсилех; 7 — у Асуана (три карьера).

Выявленная европиевая аномалия сыграла роль главного, но не единственного фактора в установлении происхождения древнеегипетских статуй. Из всех проанализированных кварцитов лишь кварцит Джебел-эль-Ахмара обладает сравнительно высокой железистостью, в среднем такой же, как у материала статуй; поэтому по вертикальной оси на рис. 17 отложены содержания железа. Кварциты карьера Е-3, находящегося в 8 км южнее Эдфу, содержат много марганца и кальция, concentra-

ции обоих элементов здесь примерно в 10 раз выше, чем во всех остальных объектах. По этой причине карьер Е-3 не может считаться «родиной» колоссов Мемнона. Аналогичным образом отпадает карьер Силсилех, его кварцит содержит слишком много бария.

Нейтронно-активационный анализ позволил также установить место, откуда был доставлен камень для ремонта северной статуи, той самой, которая когда-то «говорила» и «пела». По элементному составу образцы, взятые из верхней части этой скульптуры, реконструированной при Септимии Севере, оказались близкими к кварцитам из карьеров Е-2 и Е-3, расположенных неподалеку от Эдфу, а также к кварцитам из асуанских карьеров. Это говорило о том, что для восстановления статуи использовали камень из ближних месторождений.

Итак, древние египтяне, 35 столетий назад соорудившие грандиозный памятник в Фивах, не посчитались с колоссальными затратами труда на транспортировку и выбрали в качестве материала для гигантских статуй железистый кварцит из самого удаленного карьера. Но именно этот кварцит отличается особенностью микроэлементного состава, и хотя содержание в нем индикаторного элемента — европия — исчисляется всего несколькими миллионными долями процента, их удалось измерить методом нейтронной активации.

«Ветвящееся дерево» идентифицирует древнеримские амфоры. Археологам часто приходится решать задачи, связанные с классификацией и идентификацией тех или иных предметов. Классификация — это операция разделения данной совокупности на группы (кластеры) без априорных сведений о наличии сходства или различия между объектами. Идентификация представляет собой процедуру отнесения индивидуальных объектов к специфическим группам, установленным в процессе классификации.

Решение задач классификации и идентификации основано на исследовании сходства и различия объектов по определенным признакам. Ясно, что для уверенного выявления сходства и различия предпочтительны признаки, имеющие, по возможности, количественное выражение, причем важно как число рассматриваемых признаков, так и интервалы их изменений. В последние годы роль таких признаков все чаще играют концентрации химических элементов, и в частности микроэлементов, в изучаемых объектах. Современные аналитические методы позволяют с высокой точностью измерять в различных по природе объектах содержания широкого круга элементов. Результаты многоэлементного анализа выступают надежной базой выявления сходства или различия по целому комплексу количественных признаков.

Решение задач по классификации и идентификации объектов на основе ряда признаков требует применения аппарата многомерной статистики. Существует немало приемов много-

мерной статистической обработки и интерпретации данных исследования на комплекс признаков. Здесь мы рассмотрим методику так называемых «ветвящихся деревьев», или дендограмм.

Каждый объект, изучаемый с помощью многоэлементного анализа, можно считать точкой, расположенной в многомерном пространстве. Координатами точек являются значения концентраций химических элементов. Если в M образцах измерены содержания N элементов, то в N -мерном пространстве будет M точек.

Человек не может выявить все закономерности, скрытые в многомерных наблюдениях. Действительно, немыслимо рассмотреть совокупность из M точек в N -мерном пространстве, поскольку реальным для человека является пространство трех измерений. Но это может сделать ЭВМ. Действуя по специальной программе, она «просматривает» в N -мерном пространстве расстояния между всеми точками и выбирает минимальное из них. Два наименее удаленных друг от друга объекта объединяются тогда в кластер, характеризуемый своей точкой, которая определяется координатами объектов, вошедших в кластер. Затем осуществляется поиск минимального расстояния между оставшимися $(M-1)$ объектами. Вследствие этого поиска или к уже образованному кластеру присоединяется третий объект, или же создается второй кластер, состоящий из двух максимально близких объектов. Процесс повторяется до тех пор, пока все M объектов не попадут в один кластер. Результаты такого процесса (кластеризации) удобно представить в виде диаграммы — «ветвящегося дерева», называемой дендограммой [7].

При построении дендограммы объекты изображаются точками, располагаемыми слева в вертикальный ряд, а справа показываются результаты кластеризации. Рассмотрим пример построения простого ветвящегося дерева для шести объектов (рис. 18).

Предположим, что при просмотре в многомерном пространстве расстояния между точками, соответствующими образцам 1 и 4, оказалось минимальным. Это расстояние можно измерять в условных единицах. Допустим, что между образцами 1 и 4 оно равно 0,1. Тогда из точек 1 и 4 проведем параллельные горизонтальные линии, длина которых составляет 0,1. Концы полученных отрезков соединим вертикальной чертой. Объекты 1 и 4 образовали кластер.

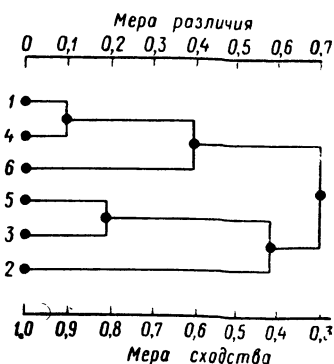


Рис. 18. Схема построения дендограммы для шести объектов.

Пусть теперь после просмотра оставшихся расстояний минимальным, равным, например, 0,2, окажется расстояние между объектами 3 и 5. Эти два объекта объединим в кластер: от соответствующих точек на диаграмме проведем горизонтальные линии длиной 0,2 и их концы соединим.

Можно сказать, что сейчас в рассматриваемой совокупности имеются четыре кластера: в первом из них — два объекта (1 и 4), во втором — один (6), в третьем — два (5 и 3), в четвертом — один (2). Пусть следующий шаг кластеризации добавляет объект 6 к первому кластеру; это означает, что расстояние между первым кластером и объектом 6 оказалось минимальным. В соответствии с величиной расстояния проводим горизонтальную линию от точки, общей для объектов 1 и 4, и от точки 6. Предположим, что дальнейший шаг добавляет объект 2 к кластеру, состоящему из объектов 5 и 3. Таким образом, теперь получены два кластера: первый включает объекты 1, 4 и 6, а второй — объекты 5, 3 и 2. После определения расстояния между двумя только что созданными кластерами они объединяются в один. Этим заканчивается построение дендограммы.

Очевидно, что чем больше расстояние между объектами или кластерами, тем больше мера различия между ними и тем меньше их сходство. Поэтому на дендограмме можно обозначить две шкалы — как различия (расстояние в многомерном пространстве), так и сходства. В рассмотренном примере объекты 1 и 4 объединены в кластер на уровне сходства 0,9. Кластер, включающий объекты 1, 4 и 6, образован на уровне сходства 0,6; кластер, содержащий объекты 5, 3 и 2, — на уровне сходства 0,4. Окончательно все объекты группируются в один кластер на уровне сходства 0,3.

По дендограмме, следовательно, можно количественно судить о степени сходства сравниваемых объектов и в зависимости от меры сходства проводить группировку. Если в только что рассмотренном примере ставится задача рассортировать шесть объектов на две группы, то по дендограмме можно полагать, что в первую группу входят объекты 1, 4 и 6, а во вторую — объекты 5, 3 и 2. Надо подчеркнуть, что «ветвящееся дерево» — дендограмма — строится, как правило, по результатам исследования многих признаков, но сводится к двумерному, т. е. плоскому, изображению этих данных.

С появлением ЭВМ дендограммы стали широко применяться при решении задач о классификации и идентификации объектов. В качестве примера использования «ветвящегося дерева» археологами приведем результаты, которые были опубликованы в 1982 г. Итальянские ученые исследовали древнеримские амфоры, обнаруженные в одном из пригородов Милана. Ковш экскаватора, рывшего котлован для фундамента будущего здания, вскрыл подземный склад античной керамической посуды. Вызванные строителями археологи извлекли из-под земли не-

сколько десятков амфор, сравнительно хорошо сохранившихся.

Изучение находок показало, что по форме, особенностям орнамента и по маркировке большинство сосудов разделяется на две группы. Одну группу составили так называемые апулийские амфоры, изготовленные на юге Италии, другую — истрийские амфоры, сделанные в северо-восточной части страны. Разделению помогла маркировка, на некоторых амфорах сохранилось клеймо, указывающее название античной мастерской и имя мастера. Однако на значительном числе сосудов клеймо было незнакомым или отсутствовало вовсе, а форма амфор и орнамент на них были необычными. Это не позволяло отнести часть амфор к «южной» или «северо-восточной» группе. С другой стороны, археологи знали, что доверять орнаменту или клейму на амфорах можно не всегда. Известно, что в Древнем Риме апулийская посуда ценилась дороже истрийской. По этой причине в мастерских на северо-востоке Италии нередко имитировали стиль южных изделий и даже ставили клейма апулийских гончаров.

При выяснении подлинной принадлежности амфор целесообразно опираться на геохимические особенности исходного сырья — глины. Употреблявшиеся в северо-восточной Италии глины по микроэлементному составу заметно отличаются от глин, добывавшихся в карьерах на юге. Этим и воспользовались физики из университета в Павии, исследовавшие найденные в окрестностях Милана амфоры методом нейтронной активации [66].

На нейтронно-активационный анализ направили образцы 48 сосудов. Каждый образец был составным, примерно половина его приходилась на вещество, взятое с внешней поверхности амфоры, а другая половина — на материал с внутренней поверхности. При этом ущерба сосудам практически не было нанесено, для анализа оказалось достаточным подготовить образцы массой не более 0,3 г.

В течение 30 часов образцы амфор облучались в исследовательском ядерном реакторе университета в Павии, плотность потока равнялась 10^{12} нейтронов на квадратный сантиметр в секунду. Одновременно облучались стандартные образцы горных пород, а также эталонные образцы керамики, предназначенные специально для анализа элементного состава керамических изделий. Во всех эталонных образцах концентрации широкого круга химических элементов были определены с высокой степенью точности.

Концентрации элементов устанавливались по спектрам гамма-излучения активированных и эталонных образцов, спектры снимались с помощью германиево-литиевого полупроводникового детектора и многоканального анализатора. Через неделю после облучения измеряли содержания кальция, бария, лантана, иттербия и лутеция, т. е. элементов, радиоактивные изото-

пы которых имеют сравнительно небольшие периоды полураспада. Еще через две недели определяли элементы с долгоживущими радиоизотопами: скандий, хром, железо, кобальт, сурьму, церий, европий, гафний и торий. Таким образом, из 14 химических элементов, установленных в образцах амфор, 12

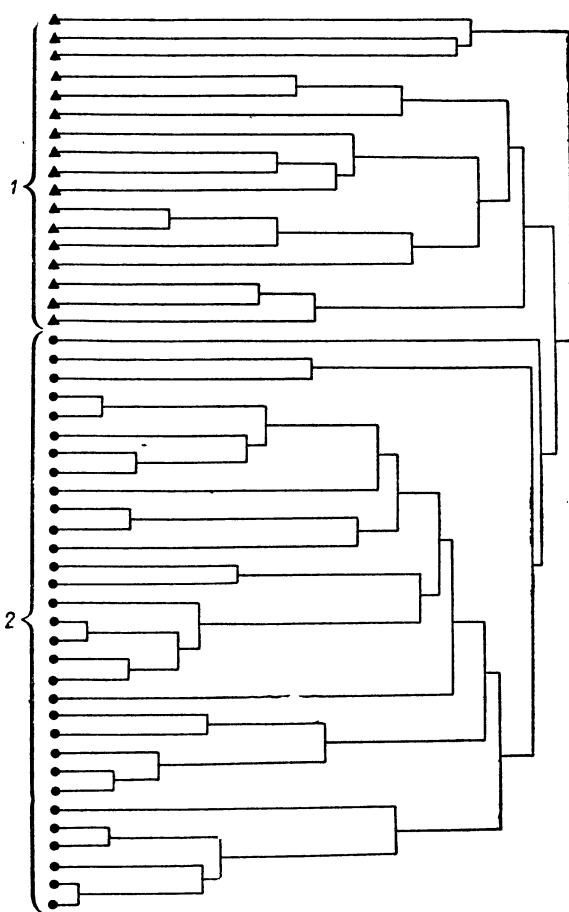


Рис. 19. Дендограмма, представляющая результаты идентификации проб 48 древнеримских амфор [66].
1, 2 — два разных кластера.

(кроме кальция и железа) являлись микроэлементами. Средняя относительная погрешность результатов анализа составляла приблизительно 10%.

Полученные данные подвергли многомерной статистической обработке с целью решения задачи об идентификации сосудов. Последовательный перебор признаков, роль которых играли

концентрации химических элементов, показал, что из 14 определенных элементов можно ограничиться лишь кальцием, сурьмой и двумя лантаноидами — церием и европием. Именно эти элементы оказались наиболее информативными при изучении материала амфор.

На рис. 19 приведена дендограмма, построенная по данным нейтронно-активационного анализа. Статистическая обработка всей совокупности из 48 образцов, каждый из которых описывался рядом признаков, заняла на ЭВМ менее минуты.

Как видно из рисунка, вычерченная с помощью ЭВМ дендограмма разделила все амфоры на две группы, соответствующие географическим регионам. Амфоры, изготовленные на юге Италии, полностью отграничились от тех, которые были сделаны на северо-востоке. Этим подтвердилась археологическая классификация сосудов. Но теперь и те амфоры, которые прежде не могли быть отнесены к той или иной группе, четко идентифицировались.

«Ветвящееся дерево» дало и другие интересные сведения. Оказалось, что некоторые истрийские амфоры с различными клеймами попали в один кластер, значит, разные гончарные мастерские использовали глину из одного и того же карьера. Противоположную ситуацию, когда некоторые амфоры одинаковой формы и с одной и той же маркировкой попали в разные кластеры, можно объяснить тем, что отдельные владельцы имели несколько мастерских, находившихся довольно далеко друг от друга, хотя и в пределах того же географического региона. В этих мастерских использовали глину из различных карьеров, но изготавливали сосуды стандартной формы и ставили на них одно и то же клеймо [66].

Следует подчеркнуть, что надежность идентификации, выполненной ЭВМ на основе данных нейтронно-активационного анализа, обеспечивается двумя важными факторами. Во-первых, поскольку каждый объект описывается многими признаками, он четко локализуется в многомерном пространстве. Во-вторых, использование такого чувствительного метода, как нейтронно-активационный анализ, дает возможность точно охарактеризовать все признаки — концентрации химических элементов, присутствующих в рассматриваемых объектах.

Радиотермолюминесценция проверяет подлинники и выявляет подделки

Физические методы исследования вещества и прежде всего те из них, в которых регистрируется индуцированное излучение, заняли видное место в изучении старинной керамики, скульптуры, бронзы, ювелирных изделий, картин и других предметов искусства. Искусствоведы и историки весьма заинтере-

сованы в привлечении надежных и объективных способов диагностики материальной основы художественных ценностей. Одна из причин этого — необходимость борьбы с фальсификаторами. Известно, что после второй мировой войны в странах Запада стоимость старых произведений искусства растет фантастическими темпами. В условиях неустойчивой экономики и усиливающейся инфляции цены стремительно повышаются на все. Но если на промышленные товары за последние двадцать лет они увеличились в среднем в 6 раз, то на произведения искусства — в 30—40 раз [17]. Операции с предметами искусства, очень часто нелегальные, сулят такую прибыль, что перед ее соблазном не могут устоять дельцы самых разных рангов.

Не последнюю роль в нелегальном бизнесе играют подделки художественных ценностей. Расширение масштабов подделки старинных шедевров во многом обусловлено тем, что новые произведения искусства, обладающие высокой художественной ценностью, появляются редко. В то же время техника фальсификации настолько усовершенствовалась, что отличить копию от оригинала бывает чрезвычайно трудно. Здесь-то и оказываются полезными экспертизы с участием физиков и химиков.

В деле проверки подлинности произведений искусства существенное значение имеют исследование элементного состава объектов и определение их абсолютного возраста. Таким образом, мы снова встречаемся с вопросами датирования. Большие успехи в выявлении подделок достигнуты при использовании метода радиотермолюминесценции, кратко на основах которого мы и остановимся вначале.

Радиотермолюминесцентное датирование. В отличие от песчаников, известняков и иных осадочных горных пород глины содержат значительные количества естественных радиоактивных элементов: урана, тория, а также радиоизотопа ^{40}K . Ядерное излучение этих элементов возбуждает атомы других элементов. Чем больше прошло времени, тем большая энергия должна накопиться в данном веществе. Чтобы освободить эту энергию, достаточно быстро нагреть вещество. Тогда высвечивается электромагнитное излучение, которое можно зарегистрировать фотоэлектронным умножителем. Радиотермолюминесценция, таким образом, заключается в поглощении веществом энергии ядерного излучения и в последующем излучении световых фотонов при нагревании.

Обжиг любого глиняного изделия переводит атомы всех элементов в равновесное состояние. Непосредственно после обжига в керамических изделиях начинают образовываться возбужденные атомы, их количество и служит для определения возраста. Очевидно, что предметы, изготовленные много сотен лет назад, должны давать при быстром нагревании значительно больший радиотермолюминесцентный эффект, чем предметы, созданные недавно.

Возраст керамического изделия определяется простой формулой

$$t = S/(d \cdot P),$$

где S — световыход, соответствующий той дозе энергии, которая накоплена в веществе с момента обжига; d — средний световыход, приходящийся на единицу дозы накопленной энергии; P — средняя скорость поглощения энергии, она выражается дозой, накопленной за один год.

Поглощенная энергия, обусловленная действием ядерного излучения, измеряется в радах или грэях (1 грэй=100 рад). Следовательно, средняя величина годичной дозы P (ее можно называть также мощностью поглощенной дозы) имеет размерность рад/год или грэй/год.

Погрешность измерения возраста радиотермолюминесцентным методом зависит от точности определения значения P . Чтобы снизить погрешность, нужно знать содержания радиоактивных элементов не только в материале предмета — глине, но и в той среде, которая окружала предмет. Если керамическое изделие в течение нескольких веков пролежало в земле, должны быть известны содержания урана, тория и калия в почве или горной породе. Во многих случаях для оценки вклада в накопленную дозу, связанного с радиоактивностью окружающей среды, достаточно воспользоваться средними концентрациями радиоактивных элементов в горных породах, установленными геохимиками. Что же касается урана, тория и калия, то содержания первых двух в веществе изучаемого объекта нетрудно получить по измерениям альфа-активности, а содержание последнего — по данным химического анализа или по измерению гамма-активности.

С другой стороны, годичная доза P зависит от индивидуальных свойств данного керамического предмета. Для выявления этой зависимости объект помещают в поток лучей, испускаемых каким-либо радиоактивным изотопом. Доза, переданная в процессе излучения объекту, точно известна. Наблюдая радиотермолюминесцентный эффект, вызванный контрольной дозой, судят о способности объекта реагировать на облучение.

Как отмечалось в разделе «Датировка событий последних ста тысяч лет», датирование по радиоуглероду нецелесообразно, если возраст объекта меньше тысячи лет. Радиотермолюминесцентное же датирование изделий из керамики можно проводить и тогда, когда со времени обжига прошло несколько тысяч лет, и в том случае, если обжиг производился всего несколько десятков лет назад. Этот вид датирования весьма эффективен при распознавании подделок, имеющих вид древних керамических предметов.

Оригинальные изделия и подделки из Хаджилара. В 1956 г. английский археолог Джеймс Мелларт вел раскопки в Турции,

в области Будур. Около деревни Хаджилар он натолкнулся на следы недавних ям и канав, указывавшие, что еще кто-то занимался здесь поисками, явно нелегальными. Поблизости от засыпанных ям было множество глиняных черепков. Ученый выяснил, что жители Хаджилара нашли под землей несколько раскрашенных керамических сосудов. Эти сосуды купил стамбульский антиквар Г. Кокабаш.

Мелларт поехал в Стамбул и осмотрел коллекции Кокабаша. Увиденное поразило английского профессора: среди хаджиларских находок оказалась ваза в виде человеческой статуи, ее глаза были инкрустированы осколками темного вулканического стекла — обсидиана. Такие сосуды не были знакомы археологам. Кокабаш позволил Мелларту опубликовать фотографии предметов из Хаджилара и описать их. Вскоре Мелларт добился от турецких властей разрешения на раскопки в Хаджиларе. Лето и осень 1957 г. стали первым полевым сезоном работы его экспедиции, затем последовали еще три сезона — в 1958, 1959 и 1960 гг.

Исследования Дж. Мелларта привели к открытию неизвестной ранее цивилизации. Было установлено, что первые поселенцы появились в окрестностях современного Хаджилара за 7 тыс. лет до нашей эры. Возможно, их привлекли находившиеся здесь источники воды, которые не так уж часты в этой местности. Ранние обитатели Хаджилара одними из первых на Земле перешли к оседлому образу жизни и начали заниматься регулярным земледелием.

В самом нижнем культурном слое Хаджилара нет черепков из обожженной глины, он был отнесен к докерамическому периоду. Выше идут керамические слои, каждый из которых отличается большим или меньшим своеобразием. Мелларт выделил девять керамических слоев. Как для докерамического слоя, так и для керамических слоев были получены достоверные радиоуглеродные даты, главным образом по древесному материалу. Нижний (девятый) керамический слой датировался приблизительно 5800 г. до н. э., а верхний (первый) — примерно 5000 г. до н. э.

Раскопки показали, что обитатели древнего Хаджилара достигли значительного прогресса в строительном деле. Уже в докерамическом культурном слое, отстоящем почти на 9 тыс. лет от наших дней, встречаются остатки обмазанных глиной полов жилищ и ямок от столбов, когда-то поддерживавших кровлю. В четвертом керамическом слое наблюдаются фрагменты глинобитных стен прямоугольных в плане жилищ со следами деревянных столбов. В третьем керамическом слое нашли часть стены, сохранившую белую штукатурку, расписанную красной краской; к этому же слою приурочена примитивная оборонительная стена, окружавшая весь поселок. Исследование второго керамического слоя позволило сделать вывод

о том, что внутри солидных крепостных стен, достигавших 2 м в высоту, находилась целая система крупных построек из кирпича-сырца, камня и дерева. Дома имели ровные глинобитные полы, нередко покрытые краской, крыши были плоскими, обмазанными глиной. В конце VI тысячелетия до нашей эры крепость была разрушена, после чего Хаджилар быстро опустел.

Важная научная ценность исследования хаджиларской цивилизации состоит в том, что она дает возможность детально рассмотреть процесс возникновения и эволюции особой керамики, в основном расписной посуды, и выделить в нем два периода. В первый период, охватывающий нижние керамические слои, раскрашенные сосуды еще редки, но среди них уже попадают вазы, изображающие животных. В это же время появляются глиняные женские фигурки, которые обычно расписывались белой, розовой или красной краской. В периоде, относящемся ко второму керамическому слою, датируемому приблизительно 5200 г. до н. э., получают широкое распространение различные кувшины и вазы. Эти сосуды тщательно расписывались, по ним видно, как древние мастера стремились обогатить свою палитру. На кувшинах и вазах встречается множество оттенков красного цвета: малинового, алого, бордового и т. д. Фон, на который накладывался красный цвет, также варьирует, он бывает белым, кремовым, желтым, цвета слоновой кости. В верхних культурных слоях появляется все больше антропоморфных сосудов в виде женских фигур с одной и двумя головами. Одна из двуглавых ваз, найденных в Хаджиларе археологами, изображена на рис. 20. Нет сомнений в том, что находки в Хаджиларе представляют собой великолепные образцы раннего искусства, отличающиеся самобытным стилем.

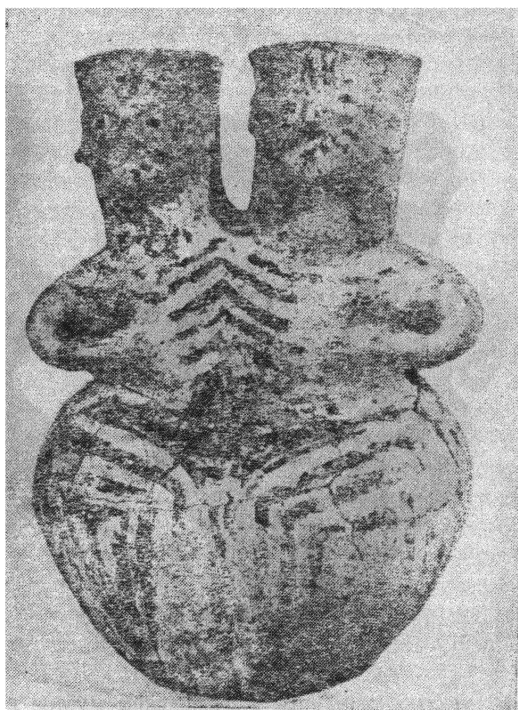


Рис. 20. Двуглавый сосуд из Хаджилара [23].

Хаджиларские кувшины и вазы с женскими головами быстро завоевали популярность, их стали охотно приобретать ведущие музеи мира. Купить предметы из Хаджилара стремились и многие коллекционеры в разных странах, цены на них непрерывно повышались. Однако вскоре возникли сомнения в подлинности некоторых приобретений.

В 1962 г. в каталоге известной лондонской фирмы «Сотби», торгующей антикварными вещами, появилось уведомление о том, что в продаже имеется несколько человеческих фигурок из керамики, найденных в окрестностях Хаджилара. За короткое время все фигурки разошлись. Одному из покупателей вид приобретенной статуэтки показался странным, он обратился к доктору П. Ако, археологу Лондонского университета. Ако был знаком с многими безусловно подлинными хаджиларскими предметами. Осмотрев статуэтку, купленную у «Сотби», он отметил ряд признаков, не характерных для тех фигурок, которые он изучал раньше. Однако в целом различия были мелкими, и уверенного заключения он не сделал.

В 1965 г. музей в Оксфорде приобрел на лондонском аукционе две керамические расписные двуглавые вазы с инкрустированными обсидианом глазами (рис. 21). Полагали, что это хо-

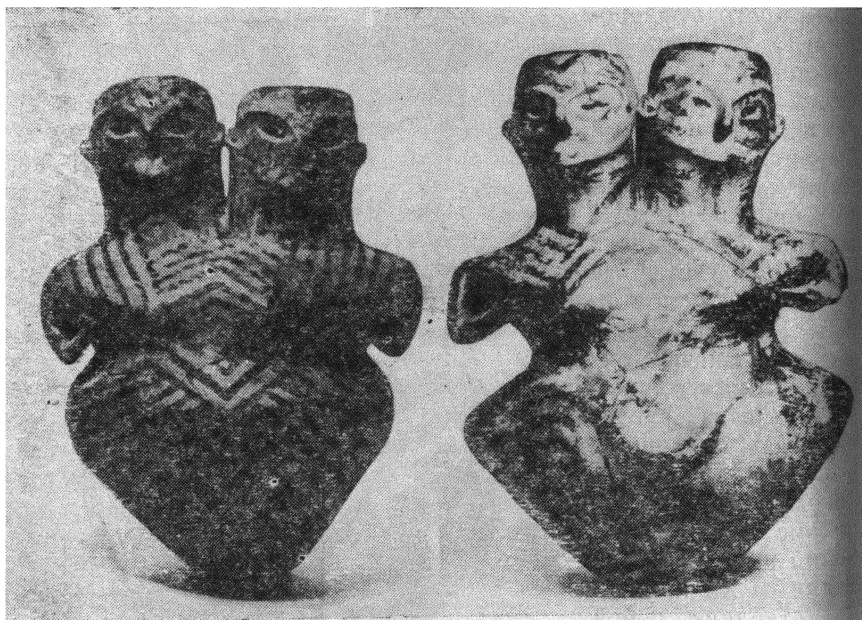


Рис. 21: Приобретенные Оксфордским музеем сосуды, оказавшиеся поддельными. Радиотермолюминесцентное исследование выявило, что обжиг глины произведен несколько лет назад [23].

рошо сохранившиеся образцы хаджиларской посуды. Примерно в то же время несколько сходных ваз было куплено музеями и частными собирателями предметов искусства в Западной Европе и США. За каждую из ваз было уплачено свыше 7 тыс. долл.

В Оксфордском музее обратили внимание на едва заметные трещинки в поверхностном слое краски, покрывавшей глину, из которой были сделаны вновь купленные предметы. На других хаджиларских сосудах, более простых по форме, приобретенных музеем в 1963 г., таких трещин не было. Главный хранитель музея обратился к М. Эйткену, сотруднику исследовательской лаборатории археологии и истории искусства Оксфордского университета, с просьбой провести термолюминесцентный анализ материала сосудов.

Эйткен проанализировал методом термолюминесценции образцы из восьми объектов. Во-первых, исследовались образцы четырех керамических черепков, найденных экспедицией Мелларта в верхних культурных слоях Хаджилара; во-вторых, изучались образцы сосудов, купленных музеем в 1963 г., и, в-третьих, — образцы материала ваз, приобретенных недавно. Результаты анализа последних образцов резко отличались от результатов исследования всех остальных объектов тем, что измеренная доза поглощенной энергии была у них гораздо меньше. А раз вещество недавно купленных музеем ваз не успело накопить значительную энергию, обусловленную распадом присутствующих в нем радиоактивных элементов, то и возраст этих предметов не мог оказаться большим. Однако в 1967 г. М. Эйткен еще был не в состоянии сделать категорический вывод об установленной им подделке, так как часть методической работы по термолюминесцентной датировке керамических изделий еще не была завершена.

К концу 60-х годов стало очевидным, что доля нелегальной керамики из Хаджилара, проданной в Европу и Америку, весьма значительна. Незаконные раскопки, начавшиеся еще до экспедиций Дж. Мелларта, не прекратились. Их продолжению отчасти способствовал сам Мелларт. В одной из своих статей он писал, что в области Будур должны находиться следы других древнейших поселений и на их месте также можно встретить расписную керамику. Действительно, близ Хаджилара было обнаружено древнее кладбище, однако археологи его исследовать не успели. В течение нескольких дней и ночей все кладбище было перекопано. Кто это сделал, выяснить не удалось, но местные жители утверждали, что кладоискатели унесли с собой немало находок.

В 1970 г. М. Эйткен закончил усовершенствование методики термолюминесцентного анализа и приступил к обширной и важной работе. Было решено исследовать 68 керамических предметов, считавшихся хаджиларскими. Среди них были 34 сосуда

и 34 фигурки из разных музеев и коллекций. Однако ни один из 68 предметов, предназначавшихся для анализа, не попал к владельцам через археологов. Это обстоятельство и вызвало некоторые сомнения в подлинности по крайней мере части рассматриваемых вещей. Из каждого предмета высверлили образцы массой около 20 мг, для анализа такого количества вещества было вполне достаточно.

Как и в предыдущих опытах, Эйткен начал с термолюминесцентного исследования настоящих глиняных черепков из Хаджилара. На этот раз были взяты черепки, для которых были установлены надежные радиоуглеродные даты. Так, для черепка, найденного в одном из верхних керамических слоев, датирование по радиоуглероду дало результат 5247 ± 119 лет до нашей эры. Иными словами, черепок принадлежал изделию, изготовленному 7217 лет назад. А по термолюминесцентному анализу абсолютный возраст этого же черепка составил 6900 лет. В пределах погрешности измерений результаты обоих методов согласовывались удовлетворительно. У всех черепков доза накопленной энергии равнялась около 2000 рад.

Затем Эйткен проанализировал образцы шести керамических фигурок, найденных археологами в Хаджиларе. Это были заведомо подлинные объекты, что и подтвердили измеренные значения дозы накопленной энергии, которые мало отличались от 2000 рад. Соответствующие величины абсолютного возраста, в свою очередь, оказались близкими к 7 тыс. лет.

На следующем этапе оценивалась радиоактивность хаджиларской почвы. Поскольку было точно известно, в каком месте находились в течение нескольких тысячелетий объекты исследования, анализ почвы предопределял надежность оценки. По содержаниям урана, тория и радиоактивного калия, измеренным в образцах почвы, определили энергию, накопленную керамическими изделиями за счет внешнего облучения. На долю этой энергии пришлось 20% от всей энергии, поглощенной керамикой. Сделанная оценка позволила существенно уточнить результаты термолюминесцентного анализа образцов, представлявших 68 предметов, подлинность которых предстояло проверить.

Термолюминесцентное исследование разделило всю совокупность предметов на две группы. Правда, когда дело дошло до предания гласности полученных данных, эта совокупность состояла уже не из 68, а из 66 объектов, ибо владельцы двух предметов, узнав о результатах анализа, не дали разрешения на публикацию фактов, касавшихся их собственности.

Первую группу образовали 15 сосудов и 3 фигурки, характеризовавшиеся высокими значениями дозы накопленной энергии, от 1,5 до 2 тыс. рад с лишним. Это были, несомненно, подлинные изделия древней хаджиларской культуры. Во вторую группу вошли все остальные предметы — 19 сосудов и 29

фигурок. Здесь величина запасенной керамической энергии оказались такими малыми, что в каждом случае удалось оценить лишь верхний предел этой энергии. Значения верхних пределов не переходили за несколько десятков рад, а иногда опускались и до нескольких рад. Наинизший из полученных пределов равнялся 2,5 рада, что соответствовало абсолютному возрасту в 10 лет. Таким образом, время обжига изделий, составивших вторую группу, совпало с появлением первых публикаций о сенсационных открытиях в Хаджиларе.

Нужно было проверить еще одну гипотезу. Некоторые керамические сосуды и статуэтки извлекали в Хаджиларе осенью, в дождливую пору, они могли быть изрядно подмокшими. Поэтому не исключалось, что искатели кладов подсушивали свои находки. Не могли ли нагрев высвободить энергию, накопленную в глине за многие века? М. Эйкен провел серию специальных экспериментов, показавших, что высказанное предположение нереально.

Итак, по данным термолюминесцентного

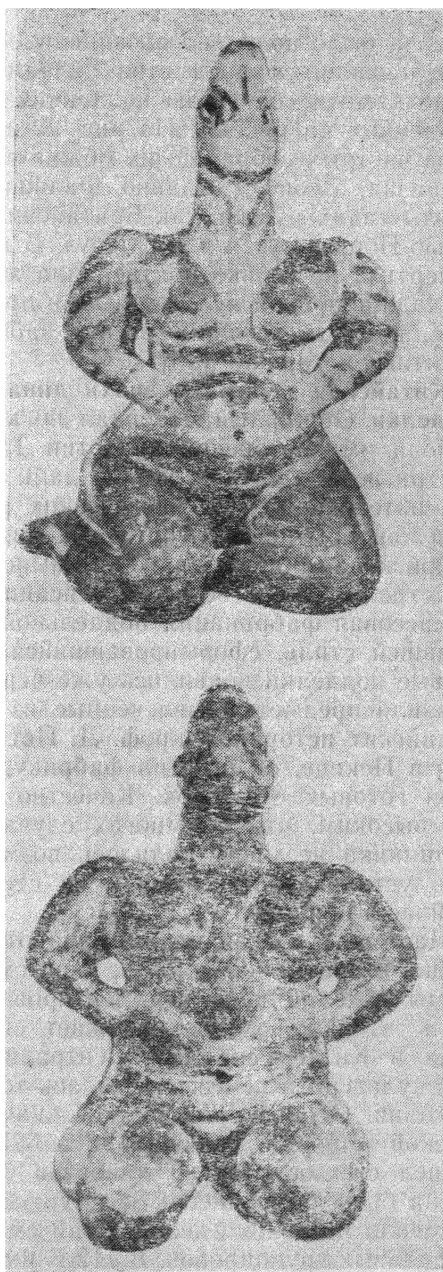


Рис. 22. Женские керамические фигурки, якобы найденные в Хаджиларе. Считалось, что им около 7 тыс. лет [23].

анализа было получено обоснованное заключение о том, что 48 исследованных предметов являются подделками. Оказались подделками и сосуды из коллекции Оксфордского музея, представленные на рис. 21. На рис. 22 изображены женские фигурки из частных собраний, их обжиг также произведен не тысячу лет назад, а совсем недавно. Фальшивками были признаны экспонаты таких музеев, как Британский в Лондоне, Метрополитен в Нью-Йорке, музей в Карлсруэ. В итоге термолюминесцентная экспертиза не только подтвердила древность подлинных объектов хаджиларской культуры, но и преградила путь фальсификациям, которые успели ввести в заблуждение даже очень компетентных историков [23].

Китайская керамика эпохи династии Тан — подлинники и подделки. Обширный материал по культуре и искусству Китая периода императорской династии Тан, просуществовавшей почти три века, с 618 по 907 г., дали раскопки могил. В результате интенсивных археологических работ, начатых в 1909 г., были найдены великолепные изделия из многоцветной глазурованной керамики, украшающие ныне коллекции музеев различных стран. Однако вслед за сенсационными находками возникла массовая фабрикация поддельной керамики, искусно имитировавшей стиль, сформировавшийся в эпоху династии Тан. Первые подделки появились уже через год после того, как мир поразили предметы, извлеченные из танских гробниц. Один из английских историков, проф. Д. Йеттс, писал, что в 1912 г., будучи в Пекине, он посетил фабрику, на складе которой увидел сотни готовых статуэток. Качество воспроизведения было таким высоким, что во многих случаях отличить имитацию от подлинника не представлялось возможным [37]. Как недавно было установлено, керамику «в стиле династии Тан» делают и сейчас в Гонконге.

Мастеров, создававших терракоту в период династии Тан, можно назвать новаторами, они смело искали оригинальные формы изделий и экспериментировали с сочетаниями цветов. Стиль этой керамики отражает специфические черты эпохи, когда в Китае усилилась централизованная власть, развивались культура и искусство, велась торговля со странами западной Азии. Особое историческое значение имеет ранний период Танской империи, начавшийся в 627 г. В это время к власти пришел сын основателя династии Ли Ши-минь, при котором страна была объединена. За смертью Ли Ши-миня в 649 г. последовало несколько десятилетий смут и междоусобной борьбы феодальных группировок. В 712 г. императором стал Ли Лун-чи, при нем страна вновь значительно укрепилась.

Ли Лун-чи был просвещенным правителем, тонким ценителем искусства. При его дворе постоянно находились музыканты и поэты, прибывавшие в столицу не только из других городов Китая, но и из соседних стран. Роскошь, в которой жили

придворные, не могла не повлиять на ритуал церемоний и обрядов. Приближенные императора и столичные аристократы стремились перешеголять друг друга в украшении дворцов, садов, а также гробниц. Под землей сооружались сложные склепы из нескольких помещений, соединявшихся коридорами и галереями. Усопшего сопровождал пышный траурный кортеж.

Большая роль при захоронении отводилась керамическим предметам. Здесь было все, что в соответствии с тогдашними верованиями могло понадобиться в загробной жизни. В подземной кладовой ставили лампы и посуду: блюда, чаши, кувшины. Один из таких кувшинов можно видеть на рис. 23. Для путешествий в потустороннем мире предназначались статуэтки уже оседланных лошадей и верблюдов. В специальном помещении, оборудованном на периферии могильного холма, перед входом в галерею, ведущую к усыпальнице, располагались стражи. Их устрашающие лица и воинственные позы должны были внушать ужас людям и злым духам, осмелившимся нарушить покой их повелителя. Два таких стража, изображенные на рис. 24, стояли у входа в гробницу одного из самых близких к императору Ли Луи-чи министров, скончавшегося в 728 г.

Со временем терракотовые фигуры становились все более разнообразными. Увеличивались и их размеры, иногда высота статуэток достигала 1,5 м. Расширился «штат» слуг, отправляемых в гробницу, среди них были повара и конюхи, погонщики верблюдов и воины. Две фигуры, представляющие «обслуживающий персонал» одного из могильников эпохи династии Тан, можно видеть на рис. 25. Нередко вокруг гроба располагались целые оркестры из керамических музыкантов или ансамбли танцовщиц. Когда умирал кто-нибудь особенно знатный, изготавливались статуэтки его коллег, высокопоставленных сановников (рис. 26).

По мере распространения обычая количество керамических предметов, главным образом статуэток, предназначавшихся для траурной церемонии, стало исчисляться несколькими сотнями. По-видимому, мастерские с трудом справлялись с выполнением этих заказов. Известно, что в конце концов император вынужден был издать декрет, приказывавший ограничить число терракотовых предметов, помещаемых в гробнице. Раскопки, проведенные в начале текущего столетия и позже, вскрыли, вероятно, лишь часть захоронений VII—IX вв.

За критерий подлинности глазурированной керамики эпохи династии Тан принимали наличие характерной сети трещин — кракелюр — на поверхности изделий. Однако те, кто занимался имитацией старинных предметов, прекрасно знали, что при соблюдении особого температурного режима можно добиться трещин и на свежееобожженных предметах. Так, поверхности статуэток «в стиле династии Тан», изготовленных совсем недавно в гонконгских мастерских, покрыты трещинами, вызванными

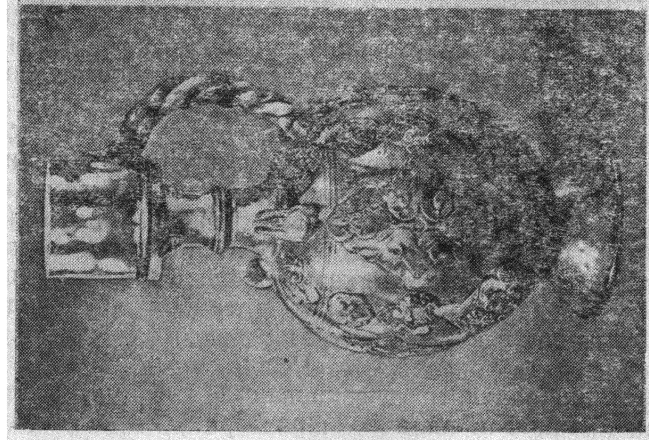


Рис. 23. Декоративный кувшин, представляющий стиль цветной керамики эпохи Танской династии. Термолюминесцентный анализ показал, что он изготовлен в VIII в. [37].

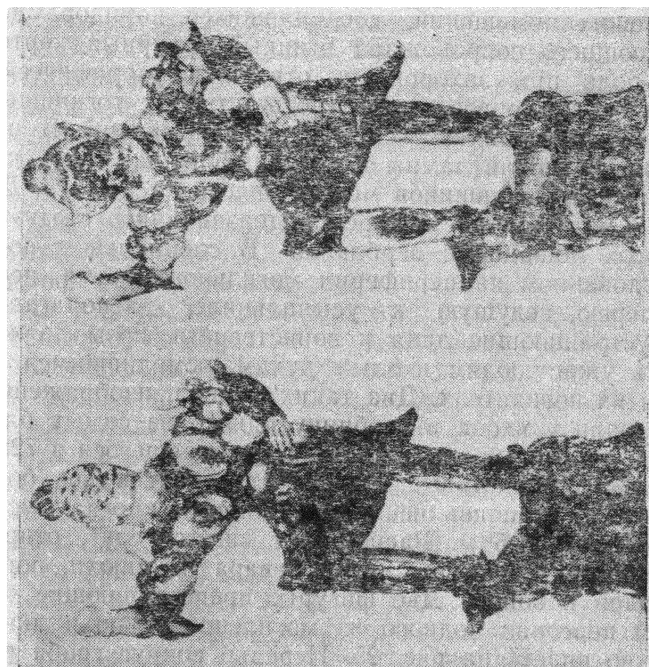


Рис. 24. Статуэтки мифологических стражей, охранявших вход в гробницу первого министра одного из императоров династии Тан. Археологи датировали гробницу VII в., радиотермолюминесценция это подтвердила [37].

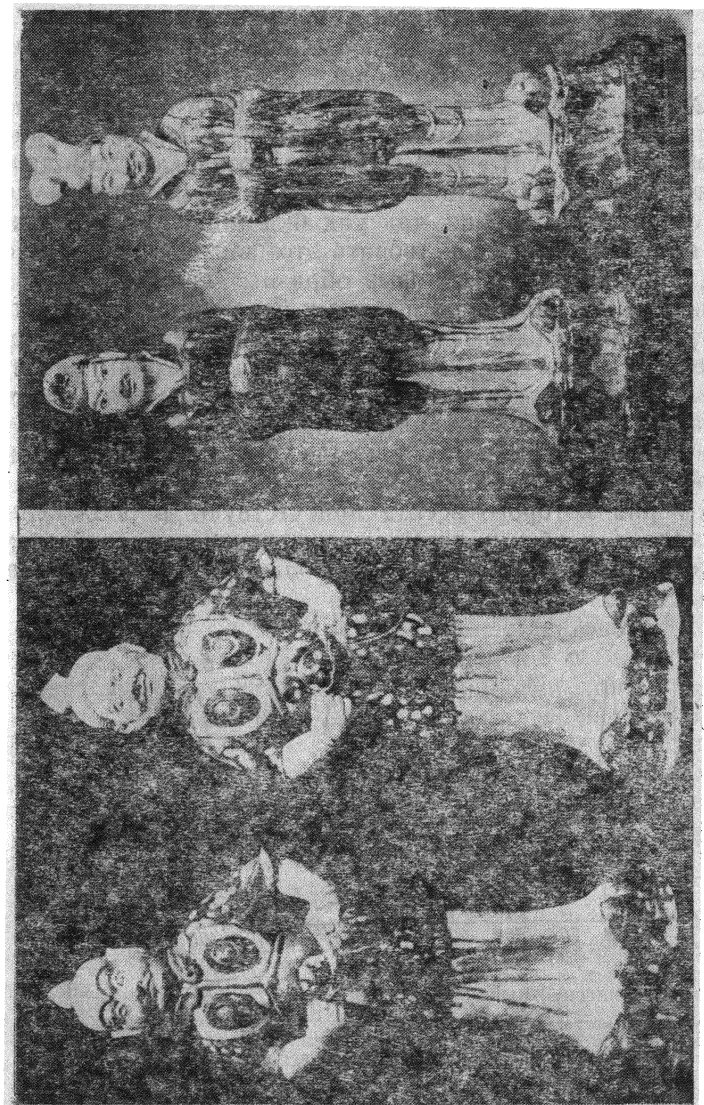


Рис. 25. Статуэтки слуг из могилы знатного китайца VII в. [37].

Рис. 26. Статуэтки сановников, найденные в могиле китайского аристократа эпохи династии Тан [37].

процессом искусственного старения терракоты. На многих более древних подделках, выполненных в начале века, также есть трещины, сходные с кракелюрами подлинников.

По сравнению с недостаточно эффективным критерием, связанным с установлением трещин на поверхности керамики, несомненные преимущества при выявлении подлинников и подделок имеет метод термолюминесценции.

В 1972 г. научный сотрудник Оксфордского университета С. Флеминг исследовал несколько десятков музейных экспонатов, датировавшихся VII или VIII вв., с помощью термолюминесцентного анализа. Исследование было важным прежде всего с методической точки зрения, так как Флемингу удалось существенным образом усовершенствовать этот вид анализа. Вместо того чтобы анализировать валовые образцы керамики, т. е. состоящее из разных минералов и потому неоднородное вещество, ученый ограничился одним минералом — кварцем, зерна которого извлекались из измельченных образцов. Это повысило чувствительность и точность метода, позволило измерять малые количества энергии, накопленные в обожженной глине за короткие интервалы времени, и сделало тем самым выявление поддельной керамики более надежным.

Кварц, зерна которого всегда присутствуют в обожженной глине, обладает особыми термолюминесцентными свойствами. Как показывает рис. 27, а, на термолюминесцентной кривой

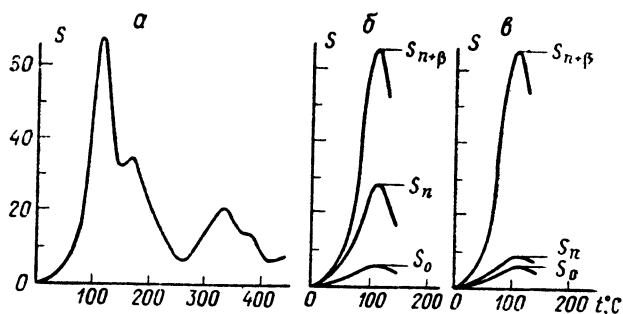


Рис. 27. Термолюминесцентный эффект кварца из керамических предметов.

Температурная зависимость: а — световыхода S , в относительных единицах; б — световыхода трех образцов кварца из старинной керамики; в — световыхода трех образцов кварца из современной керамики.

кварца имеется несколько пиков, каждый из них соответствует определенному энергетическому уровню. На этих уровнях, являющихся метастабильными, находятся электроны, приобретающие энергию в результате поглощения кварцем ядерного излучения радиоактивных элементов. Метастабильность уровней эквивалентна наличию ловушек электронов, высвободиться из

которых последние могут с получением тепловой энергии. Чем сильнее удерживающее действие ловушки, тем выше должна быть температура. У кварца самый интенсивный пик термолюминесценции при 110°C , это означает, что наибольшее количество электронов «заперто» в ловушках со сравнительно слабой удерживающей силой.

Световыход кварца при температуре 110°C зависит от величины поглощенной с излучением энергии, а также от предварительного нагревания. Предварительное нагревание до температуры в 500°C сообщает энергию дырочным носителям заряда, которые, как и электроны, захвачены ловушками. Дырки, получив энергию, перемещаются на более высокие энергетические уровни, что облегчает их встречу с электронами, результатом которой является испускание фотонов.

Термолюминесценция кварца с целью датирования керамики анализируется следующим образом. Зерна кварца разделяют на три части, по несколько миллиграммов в каждой. Первую часть облучают небольшой, так называемой калибровочной, дозой бета-частиц и, постепенно нагревая, измеряют световыход при температуре 110°C . Предположим, что его величина примет значение S_0 (см. рис. 27, б). Затем вторую часть зерен нагревают до 500°C , охлаждают до комнатной температуры и, снова нагревая, определяют световыход при 110°C . Полученная величина, равная S_n , связана с археологической дозой, т. е. с энергией, накопившейся в кварце за время существования керамического предмета. Третью часть зерен облучают довольно большой, порядка тысячи рад, дозой бета-частиц, нагревают до 500°C , охлаждают и опять измеряют световыход при 110°C . Измеренная теперь величина $S_{n+\beta}$ зависит от двух доз: археологической и дополнительной β , точно известной.

Разность $(S_{n+\beta} - S_n)$ определяется только дополнительной дозой облучения. Эта разность характеризует активацию кварца и усиление его термолюминесцентного эффекта. Величина $(S_{n+\beta} - S_n)/\beta S_0$ показывает выраженное в единицах световыхода изменение чувствительности кварца, приходящееся на дозу в один рад.

Облучение кварца дополнительной дозой бета-частиц, как свидетельствует рис. 27, б, обеспечивает значительное возрастание сигнала. Археологическую дозу, пропорциональную величине $S_n\beta/(S_{n+\beta} - S_n)$, можно достаточно точно определить, даже когда она очень мала. Если глина исследуемого предмета обожжена сравнительно недавно, то будет иметь место ситуация, изображенная на рис. 27, в, т. е. величины S_n и S_0 будут не сильно отличаться друг от друга. Если сигнал получен при калибровочной дозе в несколько рад, то на его фоне уверенно измеряется сигнал S_n , отвечающий археологической дозе порядка десятка рад, а это соответствует возрасту не более 10 лет. При исследовании керамики, возраст которой превышает 500

лет, описанный вариант термолюминесцентного анализа снижает относительную погрешность измерений до $\pm 7\%$ [37].

Повышению качества результатов термолюминесцентного анализа керамики династии Тан способствовало также и то, что удалось получить сведения о радиационной обстановке, в которой находились объекты, извлеченные из гробниц. В образцах почвы из мест захоронения измеряли концентрации урана, тория и радиоактивного калия, а по ним оценивали среднегодовую дозу внешнего облучения, действовавшего на керамические изделия. Эта доза оказалась равной 150 миллирадам в год.

У 29 исследованных С. Флемингом музейных экспонатов значения археологической дозы, измеренные по образцам квар-

ца, термолюминесцентный эффект которого усиливался дополнительным облучением, соответствовали достаточно внушительному возрасту — около двенадцати столетий. Это были настоящие терракотовые предметы периода династии Тан. В частности, подтвердилась подлинность экспонатов, представленных на рис. 23—26. Но в восьми случаях археологическая доза, измеренная в точно таких же условиях, оказалась во много раз меньше. Возраст этих объектов не превышал 60—70 лет, среди них встретились как современные, так и более ранние подделки стиля Тан. Например, возраст керамического верблюда, воспроизводимого на рис. 28, по данным термолюминесценции составляет 70 лет, а лошади, изображенной на рис. 29, — не более 10—15 лет. Последняя, видимо, изготовлена в Гонконге, а верблюд — в Китае, может быть, на той



Рис. 28. Керамический верблюд, которого ошибочно относили ко времени династии Тан. Возраст статуэтки, измеренный с помощью радиотермолюминесценции, — около 70 лет [37].

самой фабрике, которую в начале нашего века осматривал Д. Йеттс. Обе эти керамические фигуры подвергались процессу искусственного старения, на них имеются трещины, прак-

тически такие же, как на терракоте с возрастом в несколько столетий.

Интересно, что вскоре после разработки методики, позволяющей с уверенностью проверять подлинность керамики, дати-

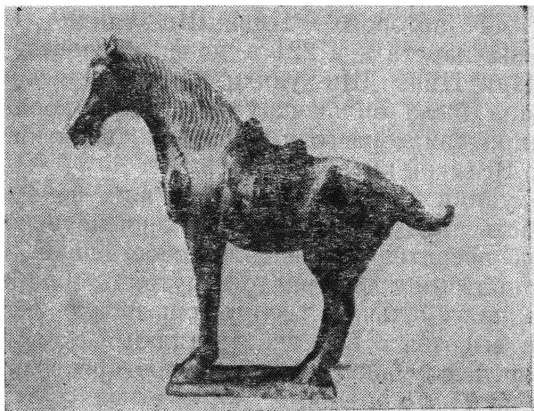


Рис. 29. Керамическая лошадь — подделка, имитирующая стиль статуэток эпохи династии Тан. Изготовлена в Гонконге в 50-х годах нынешнего столетия [37].

руемой эпохой династии Тан, в Китае были сделаны новые сенсационные археологические открытия. Главным событием оказалось обнаружение некрополя, сооруженного более 2200 лет назад, подземные галереи которого были также заполнены керамическими статуями. В 1974 г. крестьяне, возделывавшие землю в долине реки Увэй, в провинции Шаньси, наткнулись на часть гигантского подземного склепа. В следующем году здесь начали раскопки археологи. Как только они убрали слои почвы, покрывавшие подземные помещения, перед ними в дневном освещении появились сотни терракотовых воинов. Все фигуры были сделаны в натуральную величину, а сохранившиеся краски говорили о разнообразии «званий» в этой армии. И хотя многие фигуры были повреждены, их позы и расположение показывали готовность к схватке.

По мере вскрытия подземных галерей и коридоров перед глазами археологов представляли все новые и новые фигуры. За пехотинцами следовали всадники, их глиняные лошади также были сделаны почти в полный рост. Каждого воина отличало своеобразие, даже выражение лица было индивидуальным. С особыми предосторожностями керамических солдат начали вывозить из земляного плена. По мнению китайских ученых, на эту работу понадобится свыше десяти лет, тем более что разведан далеко не весь погребальный комплекс.

В 1981 г. удалось обнаружить две бронзовые колесницы, в каждую из них была запряжена четверка бронзовых коней, а правили ими бронзовые возницы. В отличие от глиняных фигур все изделия из бронзы сохранились удивительно хорошо.

Со временем археологи установили, что они исследуют комплекс (точнее, его часть) гробницы первого императора династии Цинь, имя которого — Цинь Ши-хуанди. Он завоевал шесть китайских царств и в 221 г. до н. э. провозгласил империю Цинь. При Цинь Ши-хуанди прекратились феодальные раздоры, страна была сильной. Одним из наиболее знаменательных предприятий первого императора династии Цинь было строительство Великой китайской стены.

Цинь Ши-хуанди мечтал жить вечно или, по крайней мере, сохранить власть над «Поднебесной империей» и после смерти. Много лет он посвятил возведению собственной гробницы — грандиозного подземного дворца с запутанным лабиринтом галерей. Над подземельями соорудили целую искусственную гору — курган высотой с пятнадцатизэтажный дом. Ответвление одной из галерей, случайно обнаруженное крестьянами, удалено от кургана на 2 км с лишним.

Идентификации места захоронения императора помогло сохранившееся описание его гробницы, сделанное китайским историком Сым Цянем примерно в 100 г. до н. э. В нем говорится, что Цинь Ши-хуанди приказал лучшим скульпторам Китая воссоздать в глине его личную гвардию. Были построены огромные гончарные печи, в которых обжигали терракотовых солдат для охраны императора в загробном мире [19].

Несмотря на то, что к 1982 г. были извлечены сотни фигур, ученые полагают, что это только «авангард» армии, ушедшей под землю со смертью основателя династии Цинь. Значительная часть фигур уже находится в музеях, в их подлинности сомневаться не приходится.

Возраст глиняных «пляшущих человечков» выдает «скрываемая» ими энергия. В 40-х и 50-х годах текущего столетия среди ученых-китаеведов шла дискуссия о керамических предметах, обнаруженных якобы вблизи деревни Хи Хсьен в провинции Хунань [39]. Большую часть этих предметов составляли человеческие фигурки, удивительная особенность которых заключалась в том, что их создатели, жившие, как предполагалось, свыше двух тысяч лет назад, явно стремились передать движение. Многие фигурки изображали танцующих людей, подобно той, которая представлена на рис. 30.

По мнению ряда археологов, керамику «в стиле Хи Хсьен» следовало отнести к IV в. до н. э. В этом случае «пляшущие человечки» были далеко не первыми керамическими статуэтками, найденными когда-либо в мире. Известно, например, что на верхнепалеолитической стоянке Дольни Вестонице, на территории Чехословакии, обнаружены сделанные из обожженной гли-

ны фигурки людей и животных, возраст которых составляет приблизительно 30 тыс. лет [82]. Однако черты экспрессионизма встречаются в китайском искусстве довольно редко, динамичный характер столь древних статуэток был совершенно неожиданным. Странными казались и лица изображенных пер-



Рис. 30. Глиняная лакированная фигурка танцора «в стиле Хи Хсьен», которую сначала датировали IV в. до н. э. Радиотермолуминесцентный анализ показал, что фигурка сделана в 40-х годах нашего века [39].

сонажей — большеносые, мало похожие на лица монголоидов.

Глиняные «пляшущие человечки» быстро завоевали популярность у коллекционеров, цены на них стремительно возросли. В 40-х годах в Шанхае появились в продаже сувенирные фигурки, имитирующие «стиль Хи Хсьен». Они были сделаны из такой же глины темно-серого цвета, имели те же размеры, от 5 до 10 см в высоту, их поверхность также была покрыта черным лаком, поверх которого кое-где была нанесена красная краска. И тем не менее, шанхайские сувениры легко отличались от «подлинных»* статуэток своим явно современным видом.

* Кавычки употреблены потому, что со временем были получены доказательства подделки практически всех фигурок.

Свидетельств того, что керамические изделия «в стиле Хи Хсьен» найдены в процессе археологических раскопок, не было. Но это обстоятельство само по себе не давало повода для подозрений, поскольку в местности, о которой шла речь, издавна велись нелегальные раскопки. Так, в 1925 г. китайские крестьяне самостоятельно вскрыли множество могил поселения Ку Вэй-цзун, расположенного неподалеку от деревни Хи Хсьен. С другой стороны, деревня Хи Хсьен находится на небольшом расстоянии от двух древних поселений — Лойян и Фен Шу-лин, где археологи открыли сотни могил и извлекли из них тысячи вещей, в том числе и с возрастом свыше двух тысяч лет. По чертам лица, в частности по длинным носам, некоторые статуэтки, найденные в Фен Шу-лине, безусловно древние, напоминают фигурки «пляшущих человечков» Хи Хсьен [39]. Среди керамических предметов Хи Хсьен имелись глиняные изображения животных: лошади, тигра, совы. Они также походили на старинные фигурки, найденные в могилах Лойяна и Фен Шу-лина. Таким образом, были определенные доводы в пользу подлинности спорных находок.

Первые сомнения в том, действительно ли древние предметы Хи Хсьен, высказала сотрудник Филадельфийского музея Джэйн Ли, тщательно изучившая приобретенные ею статуэтки со стилистической точки зрения. Рентгеноструктурный и химический анализы этих статуэток показали, что в их материале необычно мало примесного кальцита.

В 1954 г. У. Юнг и Ф. Уитмор провели рентгеноструктурный и химический анализы 16 предметов Хи Хсьен, хранящихся в Бостонском музее изящных искусств. В соответствии с результатами исследования коллекция разделилась на две группы, одна из которых также характеризовалась очень малой примесью кальцита в глиняной матрице. Решительных заключений на основе этих анализов сделать было нельзя.

Тогда стали изучать лак и краску на поверхности музейных экспонатов. Знаменитый китайский черный лак приготавливают из сока деревьев, которые растут только в одной провинции — Сычуань. Этот лак китайцы использовали уже за 1,5 тыс. лет до нашей эры, им покрывали, как правило, деревянные предметы и чрезвычайно редко — керамические. Черный лак очень устойчив, его трудно растворить.

Продолжая изучение бостонской коллекции, Юнг и Уитмор обнаружили, что черный лак на анализируемых предметах сравнительно легко растворяется в ацетоне. Это делало сомнения в подлинности керамики Хи Хсьен более серьезными. Но все-таки можно было предположить, что в определенный период китайские мастера применяли менее стойкий лак. Анализ красной краски выявил на большинстве статуэток присутствие киновари. Киноварь — естественный краситель, применявшийся с незапамятных времен, никаких подозрений она вызвать не

могла. На некоторых предметах была установлена иная красная краска, представлявшая собой одно из соединений бария. Эта краска, по-видимому, была синтетической, но ее было немного. Не исключалось, что она использовалась недавно и лишь для ретуши полинявших участков на изделиях, которым, возможно, очень много лет.

Окончательно вопрос о «пляшущих человечках» был решен в 1972 г. Английские исследователи С. Флеминг и Э. Сэмпсон получили из всех основных музеев, располагающих керамическими предметами Хи Хсьен, 22 объекта. Пятнадцать предметов (включая статуэтку, изображенную на рис. 30) поступило из музеев и частных собраний Англии, пять — из музеев США, а два были привезены из Пекина. Целью исследования было определение абсолютного возраста керамики с помощью термолюминесцентного анализа.

Образцы для термолюминесцентного датирования в виде нескольких миллиграммов тонкозернистого порошка высверливали из музейных экспонатов. Поскольку сверление вызывает локальный нагрев образца, возникал законный вопрос: не может ли повышение температуры исказить результаты анализа? Ведь если нагревание окажется достаточно сильным, то накопленная керамикой энергия частично или даже полностью высвободится. Результаты термолюминесцентного анализа таких образцов могут привести к резко заниженным значениям, древние предметы будут приняты за изготовленные совсем недавно.

С. Флемингу пришлось специально проверить, насколько сверление влияет на данные термолюминесцентных тестов. Среди экспонатов музея Оксфордского университета нашлись керамические изделия, обладавшие особой твердостью. К ним относилась древнеперсидская чаша. По археологическим оценкам ее датировали I тысячелетием до нашей эры, этот возраст считался весьма надежным. Материал чаши был настолько твердым, что когда ее начали сверлить, то сверло сломалось. Взяли другое сверло, из карбида вольфрама, и другую дрель, вращавшуюся со скоростью 5000 оборотов в минуту, с трудом собрали необходимое для анализа количество зерен, зато локальный нагрев должен был проявиться в наибольшей мере. Возраст чаши, по данным термолюминесценции, составил 2700 лет. Это хорошо согласовывалось с археологическим датированием и говорило о несущественности эффекта нагревания. Дальнейшие опыты обнаружили, что температура при сверлении не поднимается выше 250 °C, т. е. не достигает критической величины, влияющей на показания термолюминесцентного метода [38].

Значения поглощенной дозы, характеризующие энергию, переданную излучением радиоэлементов веществу керамики, оказались у всех изученных предметов Хи Хсьен исключительно малыми. Ни в одном случае не удалось измерить термолюминесцентные сигналы, так как последние фактически не выделя-

лись на уровне фона, неизбежного при работе прибора. Пришлось ограничиться оценками верхних пределов поглощенной дозы, они лежали в диапазоне от 16 до 150 рад. Чтобы объект, изготовленный в IV в. до н. э., аккумулировал дозу, соответствующую максимальной оценке в 150 рад, необходима скорость накопления 0,065 рада в год. Это наивысшая из полученных величин, но и она неправдоподобно мала, ибо радиоактивные элементы, присутствующие в керамике, обуславливают гораздо больший ежегодный прирост дозы.

Реальную оценку скорости накопления дозы керамическими предметами Хи Хсьен С. Флеминг и Э. Сэмпсон получили после измерения в них концентраций радиоактивных элементов — урана и тория, а также радиоактивного изотопа ^{40}K . Минимальное значение этой скорости составило 0,55 рада в год. Если на ее величину поделить наименьшее среди измеренных значение поглощенной дозы (точнее, ее минимальный верхний предел), то получался возраст, равный 30 годам. Следовало однозначное заключение: статуэтки, изображающие «пляшущих человечков», изготовлены в начале 40-х годов, как раз когда появились первые сообщения о керамике «в стиле Хи Хсьен». А поскольку в исследованной серии, в которой не оказалось ни одного подлинника, были представлены все основные собрания этой керамики, логичной была мысль об отсутствии указанного стиля вообще [39].

Возвращение римской матроны. Скульптурный портрет неизвестной римлянки, выполненный в терракоте (рис. 31), в 1963 г. был изъят из экспозиции музея Метрополитен в Нью-Йорке. Почти полвека эта скульптура украшала коллекцию произведений античного искусства ведущего американского музея. Специалисты датировали ее примерно 150 г. до н. э., относя к периоду Римской республики, на протяжении которого в искусстве господствовало греческое влияние.

В 1961 г. в США появилась посвященная древнеримскому искусству монография, в которой высказывались сомнения в подлинности экспоната музея Метрополитен. Авторы нашли в портрете ряд черт, не соответствующих стилю римской скульптуры II в. до н. э. Они также заметили, что шейные украшения римской матроны в точности повторяют орнамент на крышке мраморного саркофага, хранящегося в одном из итальянских музеев. Поскольку саркофаг относится к совершенно другой эпохе, совпадение узоров, в самом деле, представлялось странным. Короче говоря, авторы предлагали считать терракотовый бюст римлянки искусной подделкой, изготовленной в начале текущего столетия. Работники музея Метрополитен не смогли установить, в чьих руках находилась скульптура в XIX в., до того как она была куплена представителем музея на аукционе в Лондоне в 1916 г. Пришлось перенести ее в запасной фонд. Однако там матроне предстояло находиться не так уж долго.

К 1970 г. в научно-исследовательской лаборатории археологии и истории искусства Оксфордского университета под руководством С. Флеминга разработали новую методику термолюминесцентного датирования, позволявшую более точно определять возраст объектов из обожженной глины [41]. Достоинст-



Рис. 31. Скульптура римлянки из нью-йоркского музея Метрополитен, считавшаяся поддельной. По данным радиотермолюминесценции возраст скульптуры — около 2 тыс. лет [41].

вом методики была ее независимость от наличия сведений о той радиационной обстановке, в которой находились рассматриваемые предметы в течение многих веков. Именно такую методику следует использовать, когда речь идет о лежавших под землей или в гробницах вещах и если трудно установить что-

либо определенное о радиоактивности окружающей их среды, т. е. о содержании в ней радиоактивных элементов и об уровне космического излучения на соответствующей глубине.

Материал терракотовых скульптур, как и керамических изделий, представляет собой аморфную матрицу — обожженную глину, в которой распределены кристаллические включения минералов, главным образом кварца и полевого шпата. Концентрации радиоактивных элементов — урана и тория, а также ^{40}K в глине намного выше, чем в кристаллических включениях. С другой стороны, термолюминесцентный эффект связан как раз с кристаллами, именно в них под действием излучений постепенно накапливаются попавшие в ловушки электроны, которые в результате нагревания высвобождаются и вызывают свечение.

Чтобы устранить зависимость датирования от радиационных условий окружающей среды, С. Флеминг предложил проводить термолюминесцентный анализ дважды. Рекомендовалось сначала использовать тонкозернистые образцы, состоящие как из глины, так и из измельченных кристаллических включений, а затем другие образцы, представляющие собой только включения, извлеченные из материала керамики. В случае тонкозернистых (с диаметром около микрометра) образцов полная доза радиации D_F , поглощенная за все время существования рассматриваемого предмета, складывается из трех компонент, вызванных действием альфа-частиц (D_α), бета-частиц (D_β) и гамма-лучей (D_γ):

$$D_F = D_\alpha + D_\beta + D_\gamma.$$

Доза радиации, поглощенная кварцевыми включениями (их размер обычно не превышает 100 микрометров), определяется по-иному. В этом случае вклада от альфа-частиц не будет вообще. Поскольку пробег альфа-частиц в материале керамики не более 25 микрометров, все они поглощаются в глине и не достигают кристаллических включений. Вклад от бета-частиц будет несколько снижен по сравнению с величиной D_β вследствие заметных потерь энергии этих частиц в глине (средний пробег бета-частиц природных радиоэлементов в материале керамики лежит в интервале 1—2 мм). Так как гамма-излучение эффективно на значительно больших расстояниях, порядка 30 мм, то его вклад будет практически одним и тем же и для тонкозернистых образцов, и для образцов кварцевых включений. Следует подчеркнуть, что влияние радиации внешней среды проявляется только в величине D_γ , поскольку альфа- и бета-частицы, связанные с распадом внешних излучателей, не доходят до археологических объектов.

Таким образом, радиационная доза D_I , поглощенная кварцевыми включениями за время существования исследуемого предмета, определяется из формулы

$$D_I = fD_\beta + D_\gamma,$$

где f — коэффициент ослабления бета-излучения, действующего на кристаллические включения (измерения показали, что величина f , как правило, лежит в диапазоне 0,90—0,95).

Вычитание второго уравнения из первого приводит к тому, что в новой формуле величина D_γ будет отсутствовать:

$$D_F - D_I = D_\alpha + D_\beta(1 - f).$$

Если обозначить величины среднегодового прироста дозы, связанные с действием альфа- и бета-излучения, соответственно через v_α и v_β , а возраст объекта через t , то можно написать:

$$D_\alpha = v_\alpha t; D_\beta = v_\beta t; (D_\beta/D_\alpha) = (v_\beta/v_\alpha).$$

Тогда уравнение для D_F примет вид

$$D_F - D_I = D_\alpha \{1 + [v_\beta(1 - f)/v_\alpha]\}.$$

Отсюда следует формула для определения возраста:

$$t = D_\alpha/v_\alpha = (D_F - D_I)/[v_\alpha + v_\beta(1 - f)].$$

Это выражение подтверждает независимость методики от величины D_γ , а отсюда и от радиационных условий среды, в которой находился рассматриваемый предмет. Значения D_F и D_I получают по данным термoluminesцентного анализа, выполненного с тонкозернистыми образцами и с образцами кварцевых включений, а величины v_α и v_β оценивают после измерений концентраций радиоактивных элементов в глине исследуемых объектов.

Образцы из терракотовой скульптуры римлянки, перемещенной в запасной фонд музея Метрополитен, отправили в Англию, где группа Флеминга исследовала их с применением описанной методики. Величина дозы, накопленной тонкозернистыми образцами, оказалась 1705 рад, а доза, аккумулированная кварцевыми включениями, составила 790 рад. Значения v_α и v_β равнялись соответственно 0,49 и 0,23 рад/год. Совокупность этих цифр показывала, что проанализированному объекту около двух тысяч лет. Подозрения о подделке отпали, римская матрона вернулась на прежнее место в музейной экспозиции, иллюстрирующей искусство Древнего Рима.

Терракотовые скульптуры периода Возрождения и подделки Джованни Бастинани. Ваятели, творившие в эпоху Возрождения, использовали главным образом мрамор и бронзу. Терракота, уступающая по долговечности этим материалам, применялась значительно реже. Но хотя больших скульптур из терракоты делалось мало, в XIV и XV столетиях глина наряду с гипсом служила для эскизных моделей, по которым затем отливались металлические или вытесывались каменные статуи.

Многие терракотовые скульптуры не выдержали испытания временем и разрушились.

Среди сохранившихся произведений искусства, материалом которых была глина, есть и выполненные знаменитыми скульпторами Возрождения. Творцом самой ранней дошедшей до нас терракотовой скульптуры «Христос и святой Фома», датируемой 1464 г., был выдающийся итальянский ваятель Лука делла Робиа.

По сравнению со статуями и бюстами из мрамора или бронзы работа в терракоте стоила гораздо дешевле. Вот почему с конца XIV в. постоянно возрастало количество заказов на скульптурные портреты из этого материала. Один из таких терракотовых портретов, изображающий мантуанскую маркизу Изабеллу д'Эсте, приписывали самому Леонардо да Винчи. В Лувре находится написанный Леонардо да Винчи рисованный портрет Изабеллы д'Эсте, который чрезвычайно похож на терракотовый бюст, хранящийся сейчас в швейцарском музее. Совсем недавно выяснилось, что автор этого бюста — другой выдающийся скульптор итальянского Возрождения, Джанни Кристофоро Романо. В 1972 г. было найдено письмо Изабеллы д'Эсте к сестре Беатриче, где она сообщает, что Романо будет делать ее скульптурный портрет.

К середине XV столетия терракота как материал для скульптуры приобрела большее значение, к этому времени была освоена техника глазирования обожженной глины. Теперь терракота стала прочнее, она начала конкурировать с мрамором при украшении соборов и богатых домов. Глазурованные скульптуры привлекали своим колоритом, они обычно расписывались белой, желтой, синей и пурпурной красками. В числе первых скульпторов, применявших обновленный материал, был и Лука делла Робиа. Использовали его и племянники знаменитого ваятеля, Андреа и Симон, к которым после смерти Луки в 1471 г. перешла мастерская. Затем школу Робиа представляли пять сыновей Андреа, из них наиболее известен Джованни.

Через 400 лет творения мастеров эпохи Возрождения стали пользоваться широким спросом как в Италии, так и в других европейских странах. Цены на терракоту XIV и XV столетий непрерывно повышались. Тогда появились ваятели, а затем и целые предприятия, специализировавшиеся на имитации скульптур Ренессанса. Приобрели известность «законные» подделки мастера из Болоньи Анджело Мингетти и фирмы Дочча во Флоренции. Последняя достигла такого высокого качества имитируемых скульптур, что получила за свои работы медали в 1851 и 1855 гг. Несколько позже другая фирма — Кантажелли — начала имитировать произведения школы делла Робиа и также добилась успехов, ее работы отметили на Парижской выставке 1900 г.

Но были и скульпторы, целиком посвятившие себя лепке в

стиле Возрождения, чьи скульптуры посредники-торговцы выдавали за подлинные творения XV столетия. К таким произведениям относятся, например, хранящиеся сейчас в Лондонском музее Виктории и Альберта три мужских бюста. Первый изображает флорентийского поэта и философа XV в. Бенивьени, второй — философа из Флоренции того же века Марсилио Фидино, а третий (рис. 32) — Джироламо Савонаролу, домини-



Рис. 32. Терракотовый бюст Савонаролы, который признавался творением скульптора XV в. Радиотермолюминесцентное датирование свидетельствует о том, что бюст изготовлен в XIX в. [40].

канского монаха, проповеди которого едва не вызвали гражданскую войну во Флоренции (за них Савонарола был отлучен папой Александром VI от церкви и в 1498 г. сожжен на костре как еретик). В свое время эти скульптурные изображения считались творениями эпохи Ренессанса. Французский Лувр уже собирался приобрести один из этих скульптурных портретов, когда вдруг некий Джованни Фресппа, торговец-антиквар, объявил, что их автор жив.

Им оказался Джованни Бастианини, родившийся в 1830 г. в бедной крестьянской семье, обитавшей в деревне Фьезоле близ Тосканы. Еще в детстве он страстно интересовался искусством, часами разглядывал статуи в местном соборе, архитектурные детали виллы Медичи во Фьезоле и монастыря, расположенного неподалеку. В юности он начал лепить, и в 17 лет его уже можно было считать зрелым мастером-самоучкой. В 1847 г. на его лепку обратил внимание Фреппа, решивший использовать талант юноши в своих корыстных целях. Бастианини стал имитировать стиль Возрождения, а Фреппа продавал готовые статуи и бюсты.

Шло время, и торговец начал испытывать зависть, наблюдая за парижскими аукционами, где за скульптуры Бастианини платили в десятки раз больше, чем выручал он. В 1867 г. Фреппа опубликовал свои разоблачения во французском журнале «Хроника искусства», и о таланте Бастианини узнали многие, но через год скульптор умер. О масштабах его деятельности известно крайне мало. Установлено только, что он имитировал стиль целого ряда выдающихся мастеров итальянского Возрождения.

С. Флеминг и Д. Стоунхэм из Оксфордского университета решили сравнить термолюминесцентные свойства материала подлинных творений периода Возрождения и имитирующих их стиль скульптур Джованни Бастианини [40]. Исследовались образцы из семи терракотовых скульптур. Два образца были взяты из трех названных выше бюстов работы Бастианини, один — из бюста неизвестного скульптора, предположительно относимого к концу XV в., и четыре — из подлинных произведений эпохи Возрождения. Этими произведениями были скульптурная группа «Снятие с креста» из нью-йоркского музея Метрополитен работы Джованни делла Робиа; женская статуя из того же музея работы Аньоло ди Поло; бюст Изабеллы д'Эсте скульптора Джанни Кристофоро Романо и статуя святого Иоанна, автор которой — Бенедетто да Майано. Все четыре итальянских ваятеля творили во второй половине XV столетия.

Датирование подлинных терракотовых скульптур эпохи Ренессанса методом термолюминесцентного анализа связано с определенными трудностями. Дело в том, что эти объекты сравнительно молоды, они не успели запасти достаточное количество энергии, полученной при распаде ядер долгоживущих изотопов. Значит, наблюдаемые сигналы не могут быть большими, что неизбежно снижает точность измерений.

Однако Флемингу и Стоунхэму удалось существенно повысить точность анализа за счет усложнения его процедуры. Образцы всех изучавшихся объектов исследовались трижды: сначала применялась методика мелких зерен, затем методика включений и, наконец, методика со вспомогательным облучением фиксированной дозой. Но нужно было еще дать как мож-

но более точную оценку внешней дозы, полученной терракотой со времени ее изготовления. Поскольку речь шла о музейных экспонатах, хранившихся в непостоянных условиях, величину дозы от внешнего облучения определить было не просто.

Исследователи из Оксфорда учли, что в их распоряжении имеются две группы объектов с различающимися значениями возраста. Одна группа состоит из подлинников эпохи Возрождения, которым около 470 лет. Вторая группа образована имитациями XIX столетия, им примерно 120 лет. Измерив дозы, аккумулярованные объектами за время их существования, и определив по концентрациям урана, тория и радиоактивного изотопа калия среднюю скорость накопления внутренней дозы, Флеминг и Стоунхэм смогли оценить для каждого образца два крайних значения скорости накопления внешней дозы. Одно из этих значений отвечало среднему возрасту 470 лет, другое — возрасту 120 лет. В случае экспоната одно из таких значений оказывалось приемлемым, а второе отвергалось как невероятное из-за своей величины. После этого становилась возможной уточненная датировка каждого объекта.

Для подлинных скульптур периода Возрождения были получены следующие значения возраста и наиболее вероятных дат создания (они указаны в скобках и отсчитаны от года, в котором сделан анализ):

Джованни делла Робиа — 510 ± 55 лет (1460 г.);

Аньоло ди Поло — 485 ± 55 лет (1485 г.);

Джанни Кристофоро Романо — 500 ± 65 лет (1470 г.);

Бенедетто да Майано — 470 ± 70 лет (1500 г.).

Для двух бюстов работы Джованни Бастианини наиболее вероятные значения абсолютного возраста оказались равными 110 и 120 лет, они хорошо совпадали с периодом необычайного расцвета творческих сил этого мастера. Самым малым возрастом обладал бюст неизвестного скульптора, который прежде относили к концу XV в. Термолюминесцентный анализ показал, что ему примерно 60 лет, похоже, что это произведение создано в начале нашего столетия [40].

Возможно, что в музеях или частных собраниях имеются и другие терракотовые скульптуры, ошибочно приписываемые ваятелям эпохи Ренессанса. Это легко проверить, так как термолюминесцентные свойства подлинных произведений периода Возрождения установлены теперь достаточно точно.

Ключ к решению вопросов — в изучении состава предметов

На современном уровне знаний под составом предмета понимают целый ряд характеризующих его деталей. Здесь и концентрации химических элементов (в том числе тех, доля кото-

рых в общем составе исчезающе мала); и микроколичества радиоактивных излучателей (урана, тория, продуктов их распада), и соотношения между стабильными изотопами отдельных элементов (например, свинца).

Тонкие особенности состава имеют непосредственное отношение к истории предмета. В начале этого раздела рассказывается об изучении красок — материала, с которым наиболее часто приходится иметь дело историкам и искусствоведам. Физиками разработано несколько способов исследования состава самой важной краски — белой. Поскольку белила используются не только в виде красок, но и для грунтовки, они присутствуют на любой картине. В прошлом основу белой краски составляли соединения свинца, теперь — соединения цинка или титана. По особенностям состава белил можно датировать картины, а следовательно, проверять их подлинность или выявлять подделки. К настоящему времени установлены изотопные характеристики красок, которыми пользовались художники прошлых веков. В общих чертах известно, какие примесные элементы должны находиться в белилах на полотнах старых мастеров, а какие — нет.

Измерение концентраций примесных элементов дает обширную информацию о предмете. При этом неважно, какова природа вещества, содержащего примеси. В качестве иллюстрации после нескольких сюжетов о красках будет показано, как определяемые физическими методами элементы «работают» на других объектах. Речь пойдет о сравнении составов старинной и современной бронзы, а также об исследованиях чернил на карте, которая якобы изображала Америку до того, как ее открыл Колумб.

Бывают случаи, когда применения какого-либо одного метода недостаточно. Тогда используют комплекс методов, изучая предмет с различных сторон. Так было, в частности, когда исследовали скульптурный портрет Нефертити и туринскую плащаницу, рассказ о которых завершает данный раздел.

Радиоактивный свинец в красках Вермеера. Ян Вермеер (1632—1675) считается одним из самых знаменитых художников XVII столетия. Все его картины, а их не так уж много, широко известны. Поэтому появившееся в 1937 г. сообщение о том, что найдена новая картина Вермеера, вызвало сенсацию. Человека, известившего об этом, звали Ван Меегерен. По его словам, он давно занимался поисками старинных картин. Вскоре Ван Меегерен заявил, что он нашел еще восемь картин того же художника. Некоторые искусствоведы признали их подлинность, но детальную экспертизу картины пройти не успели — началась вторая мировая война.

В 1946 г. голландские власти арестовали Ван Меегерена по обвинению в продаже ценностей, являющихся национальным достоянием страны и охраняемых государством [1]. И здесь

вдруг выяснилось, что все якобы обнаруженные Ван Меегереном картины Вермеера изготовлены им самим. Ван Меегерен оказался ловким и искусным фальсификатором. Долгие годы он изучал живописные произведения Вермеера, осваивал его метод приготовления красок по старинным рецептам, исследовал манеру письма. Ван Меегерен овладел техникой создания кракелюр (трещин на картинах) и «пыли веков». Поэтому установить факт подделки было необычайно трудно, хотя изучением картин и занимались специалисты — эксперты, историки искусства, химики. Были проведены рентгенографические исследования, в результате которых выяснилось, наконец, что восемь проверяемых картин являются фальсификациями.

Однако, несмотря на тщательность выполненных исследований, в 1946 г. так и не удалось однозначно ответить на вопрос, представляет ли собой подлинник или подделку картина «Христос и ученики в Эммаусе», которая считалась самой ценной в проверяемой серии. Лишь в 1968 г. было доказано, что и эта картина фальсифицирована. Решающий вывод был сделан после измерений исключительно малых содержаний радия и радиоактивного свинца, присутствовавших в белой краске картины.

В свинцовых белилах всегда находятся, хотя и в очень малых количествах, продукты распада урана. Свинец и уран часто ассоциируют в природных условиях, в свинцовых рудах обязательно есть микропримеси урана. Основной изотоп урана ^{238}U после ряда радиоактивных превращений дает конечный продукт — стабильный изотоп свинца ^{206}Pb . Среди промежуточных продуктов распада урана находятся радий ^{226}Ra (с периодом полураспада 1600 лет) и радиоактивный свинец ^{210}Pb (с периодом полураспада 21 год). Химические свойства радиосвинца точно такие же, как у стабильных изотопов ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb .

Известно, что в природных условиях между всеми членами радиоактивного ряда устанавливается равновесие, поскольку число распадов в единицу времени у всех них одинаково. Такое равновесие должно иметь место и для накопившихся в результате распада урана радия и радиосвинца.

В процессе переработки руда обогащается свинцом и обедняется радием. При этом радиоактивное равновесие нарушается: радиоактивный изотоп свинца отделяется от радия и следует за обычным свинцом. Вот почему в только что выплавленном свинце или в свежеприготовленной свинцовой краске концентрация радиоактивного свинца аномально высока, т. е. количество ядер его значительно больше, чем нужно для равновесия с ядрами радия, оставшимися в веществе после переработки руды. Однако проходит около 130 лет — время, равное примерно шести периодам полураспада радиоактивного свинца, и эта аномалия практически полностью исчезает, а между ра-

дием и радиоактивным свинцом вновь устанавливается равновесие.

Таким образом, по соотношению активностей двух изотопов-индикаторов: ^{226}Ra и ^{210}Pb — можно определить возраст свинцовых белил. В старых красках должно наблюдаться равновесие между этими радионуклидами. Возраст белой краски указывает на время создания картины.

В образцах свинцовых белил с картин, приписываемых кисти Вермеера, измеряли активность индикаторных изотопов. Очень точные определения активности можно проводить, если использовать альфа-спектрометр, в котором не только регистрируются испускаемые частицы, но и измеряется их энергия. О содержании ^{210}Pb проще судить по активности его дочернего изотопа ^{210}Po — изотопа полония, который является альфа-излучателем. Энергии альфа-частиц, испускаемых полонием и радием, различны, это существенно облегчает раздельное определение изотопов-индикаторов.

Все образцы белой краски оказались резко обогащенными радиоактивным свинцом. Свинцовые белила, бесспорно, были современными, и картины представляли собой подделки.

Изотопные характеристики красок картин за 600 лет. В подразделе «Изотопы свинца рассказывают о бронзовом веке» сообщалось о том, что свинцовая руда обладает своеобразной природной меткой, по которой можно определить место ее извлечения из земных недр. Однако эта же метка годится и для датирования свинцовых белил. Американские исследователи Б. Кейш и Р. Каллахэн применили для изучения старинных картин масс-спектрометрический анализ.

Они исследовали более 400 картин из музеев Западной Европы и США, написанных на протяжении свыше шести столетий. Были представлены все основные школы живописи, самые ранние западноевропейские шедевры относились к XIV в.

Среди существующих методов анализа вещества масс-спектрометрический анализ обладает наивысшей чувствительностью. Для изотопного исследования свинцовых белил в масс-спектрометре вполне достаточными оказались образцы массой от 5 до 100 мкг. Вообще говоря, можно было бы использовать еще меньшие образцы, массой около микрограмма, однако такие крохотные частички краски плохо видны невооруженным глазом, их легко потерять.

Истощенные тонкой иглой образцы краски растворяли в азотной кислоте, из получившегося раствора электрохимическим путем осаждали окись свинца на платиновую проволоку. Затем осадок опять растворяли в кислоте и каплю нового раствора наносили на вольфрамовую нить. Когда раствор высыхал, нить прокаливали, чтобы удалить газообразные примеси. Нить с нанесенным покрытием служила источником ионов, подвергавшихся воздействию электрического и магнитного полей

в масс-спектрометре. При нагревании до 1200°C нить испускала ионы свинца, которые ускорялись электрическим полем. Пучки ионов, попадая в магнитное поле прибора, искривляли свои траектории, причем каждая из четырех изотопных разновидностей ионов имела собственный радиус кривизны. Если слегка увеличивать напряженность магнитного поля, то в коллектор масс-спектрометра будут приходиться сначала самые легкие ионы изотопа ^{204}Pb , затем ионы ^{206}Pb , после них ионы ^{207}Pb и, наконец, ионы ^{208}Pb . Таким образом, за каждый цикл изменения магнитного поля можно по очереди измерить четыре значения силы тока, стекающего с коллектора, которые и определяют изотопный состав свинца в данном образце. Если образец мал, то для снижения статистической погрешности измерений нужно повторить описываемый цикл несколько раз. При исследовании белой краски с картин данные по каждому образцу получали после 25—30 циклов вариации магнитного поля масс-спектрометра. Подключенная к прибору мини-ЭВМ отбрасывала те результаты, которые отличались от усредненного по всем циклам значения на величину, превышающую удвоенное среднеквадратичное отклонение [56].

Чтобы достигнуть большей точности изотопных характеристик, Кейш и Каллахэн использовали не абсолютный, а относительный вариант анализа. Для абсолютных данных необходимы такие стандартные образцы, изотопный состав которых известен с очень высокой степенью точности. Кроме того, материал стандартных образцов должен быть практически однородным, чтобы при работе с малыми навесками не сказывалась дисперсия, вызванная негомогенным распределением свинца. Удовлетворить этим требованиям трудно. Гораздо проще представить результаты масс-спектрометрического исследования в виде изотопных отношений, в таком случае устраняется ошибка, связанная с погрешностью аттестации стандартного образца. Для каждого из 429 изученных образцов краски Кейш и Каллахэн получили три изотопных отношения: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$.

Сопоставление изотопных характеристик краски и дат написания картин выявляет четкую закономерность, хорошо видную на рис. 33. Вплоть до конца XVIII в. все три изотопных отношения колеблются в очень узких интервалах. Для свинцовых белил с картин XIX и XX вв. имеет место иная ситуация: изотопный состав варьирует сильно. Объяснить наблюдаемый эффект довольно легко. Техническая революция, начавшаяся в XIX в., потребовала колоссальных сырьевых ресурсов, вызвала к жизни целый ряд отраслей промышленности, в том числе горнодобывающую. Количество месторождений, в которых добывался свинец, увеличилось в десятки и сотни раз, стали эксплуатироваться сравнительно бедные источники металла, а также полиметаллические руды, где свинец далеко не всегда был

ведущим компонентом. Очевидно, что добыча различных по минеральному составу, генезису и возрасту руд обусловила резкое расширение значений изотопных параметров свинца, а следовательно, и одного из продуктов переработки руд этого металла — свинцовых белил.

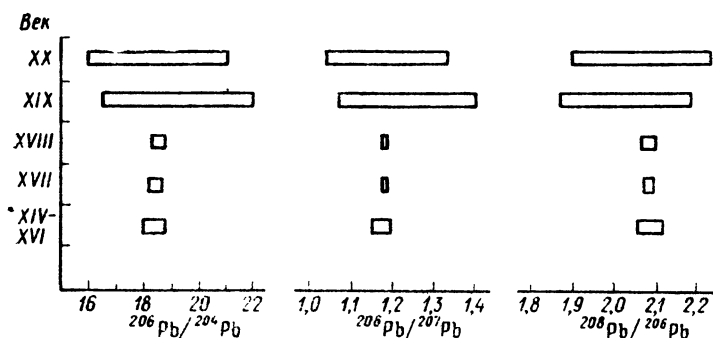


Рис. 33. Изотопные характеристики свинца в белой краске картин, написанных с XIV по XX в. [56].

Устойчивость изотопных характеристик белой краски картин, относящихся к длительному периоду времени, начало которого совпадает с ранним этапом эпохи Возрождения, а конец — с последней четвертью XVIII в., свойственна всем без исключения школам живописи во Франции, Италии, Германии, Англии, Голландии, Испании. Это обстоятельство имеет важное значение для историков искусства и уже не раз использовалось в практических целях. Если музею предлагают купить якобы старинную картину, а изотопные характеристики ее белой краски не попадают в известный диапазон значений отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, то вполне вероятно, что речь идет о подделке.

Данные масс-спектрометрического анализа были привлечены для экспертизы двух картин, хранящихся в Национальной галерее искусства в Вашингтоне. Эти картины приписывали кисти Яна Вермеера, однако у хранителей Национальной галереи были основания сомневаться в их подлинности. В 1975 г. Кейш и Каллахэн проанализировали образцы краски этих двух картин и сравнили полученные значения с изотопными характеристиками красок одиннадцати подлинных картин Вермеера. На рис. 34 представлены результаты изотопного исследования многих голландских (фламандских) картин, в том числе подлинных работ Вермеера. В качестве обобщенного показателя изотопного состава свинца использовалась комбинация трех отношений:

$$I = a_0 + a_1 (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}) + a_2 (^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}) \cdot (^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) + a_3 (^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}),$$

где коэффициенты a_0 , a_1 , a_2 и a_3 определяются в процессе статистической обработки всех полученных данных.

Как видно из рис. 34, по величине обобщенного показателя I краски на картинах фламандских художников XVI—XVIII столетий практически не различаются, значения I варьируют в очень узком интервале, от 18,2 до 18,4. С начала же XIX в. диапазон изменения показателя I в голландских картинах резко расширяется.

Каждая из проходивших изотопную экспертизу сомнительных картин была представлена двумя образцами краски. Данные по изотопному составу свинца этих четырех образцов хорошо сходились друг с другом, но все они существенно отличаться от характеристик подлинных картин Вермеера. Как следует из рис. 34, полученные для двух проверявшихся картин значения показателя I слишком малы. Гипотеза искусствоведов о подделках получила объективное подтверждение в эксперименте физиков.

Датирование картин по примесям в белилах. Как уже отмечалось, основу белой краски составляют соединения свинца, цинка или титана. В прежние времена, например в средние века, художники, за неимением других, пользовались лишь свинцовыми белилами. Окись цинка вообще не вырабатывалась до 1870 г., а производство двуокиси титана началось в 1920 г. Вот почему если в белой краске картины, которую относят, скажем, к эпохе Возрождения, обнаруживают цинк или титан, то это означает, что картина представляет собой копию или же была реставрирована.

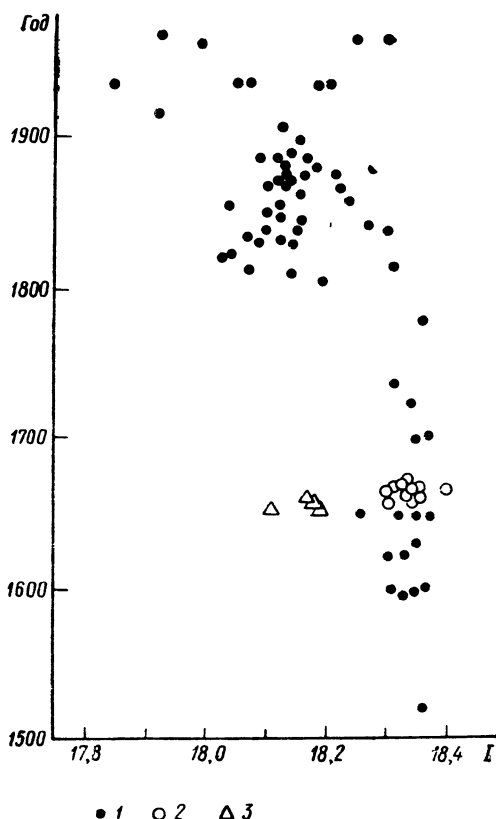


Рис. 34. Обобщенный показатель изотопного состава свинца (I) для образцов белой краски картин [56].

1 — картины голландских художников разных лет; 2 — подлинные картины Вермеера; 3 — картины, приписывавшиеся Вермееру.

Однако и свинцовые белила на протяжении веков не оставались постоянными по составу. Менялись способы очистки исходного материала — свинца, и в красках варьировали содержания примесных элементов. При сопоставлении характера распределения примесей со временем создания картины устанавливаются вполне определенные закономерности. Эти закономерности удалось выявить нейтронно-активационным анализом.

Ученые из голландского Института реакторов в городе Дельфте предприняли исследование микроэлементного состава свинцовых белил на картинах художников фламандской школы [51]. Нейтронно-активационным методом изучались 25 картин из музеев Амстердама, Гааги, Антверпена и из частных собраний. Картины были отобраны так, чтобы даты их написания перекрывали период свыше 400 лет. Самая ранняя картина относилась к 1510 г. Были представлены произведения Питера Брейгеля-младшего, Рубенса, Йорданса и других художников. Кроме красок с картин анализировались также свинцовые белила из коллекций голландских, английских и немецких фабрик (18 образцов), время изготовления которых охватывало с 1820 по 1963 г.

Образцы белой краски снимались так, чтобы повреждения картин были минимальными и совсем незаметными. Отбор производился с края картины, где явно видны следы грунтовки. Маленький участок внешнего покрытия промывался специальным растворителем, и образец, масса которого в среднем составляла миллиграмм, отщеплялся тонкой стальной иглой, смазанной канадским бальзамом. Прилипший к игле образец переносился в пробирку, где канадский бальзам и такие органические примеси, как лак, масло, растворялись. Затем образец помещался в кварцевую ампулу.

Ампулы с образцами облучались в реакторе института города Дельфта. После облучения измерялась активность образованных изотопов, а по ней в образцах краски определялись содержания девяти примесных элементов: хрома, марганца, кобальта, меди, цинка, серебра, сурьмы, бария и ртути.

Характер распределения примесных элементов в белой краске картин, написанных в разное время, оказался далеко не одним и тем же. Для семи из девяти исследованных элементов прослеживается связь между средней концентрацией примеси и временем изготовления краски.

Содержания серебра, меди, ртути и марганца сравнительно высоки и постоянны между 1500 и приблизительно 1850 гг. (см. рис. 35, где приведена диаграмма для серебра). В середине XIX в. количество всех этих элементов в свинцовых белилах резко снижается. Новый уровень концентрации сохраняется до настоящего времени. Ясно, что наблюдаемое уменьшение обусловлено более эффективной очисткой исходного свинца от примесей. Однако новые белила «внедрялись» довольно медленно,

почти 50 лет. По-видимому, некоторые художники еще долго использовали краски из старых запасов.

Распределение хрома несколько отличается от распределения элементов предыдущей группы (рис. 35). Концентрация его в белой краске падает гораздо раньше, где-то в самом начале XII в. Причина этого до сих пор не ясна, вполне возможно, что она связана с переходом на другую технологию переработки свинцовой руды. Не исключено, что такой переход отражал возросшие потребности Голландии в свинце — как раз в начале XVII в. она вела войну с Испанией за свою независимость.

Совершенно по-иному распределены во времени содержания цинка, а также сурьмы в виде ее нерастворимых соединений. Вплоть до 1940 г. концентрация цинка в свинцовых белилах крайне мала, а затем резко возрастает (рис. 35). Повышенное количество цинка в современных свинцовых белилах объясняется тем, что на фабриках исходный материал белых красок поступает в одни и те же мельницы, но вначале пропускаются краски более темных, а потом — более светлых оттенков. Таким образом, цинковые белила обрабатываются до свинцовых и в последние попадают примеси из мельниц. Кроме того, цинковые белила дешевле и нередко их добавляют в свинцовые сознательно.

Рассмотренные закономерности дают в руки специалистов надежный способ датирования картин. По особенностям распределения примесных элементов не столь уж трудно отличить подделку, для которой использованы современные краски, от картин старых мастеров.

Развитием работы, выполненной в Голландии, явилось исследование, проведенное под руководством проф. Ф. Люкса в Ин-

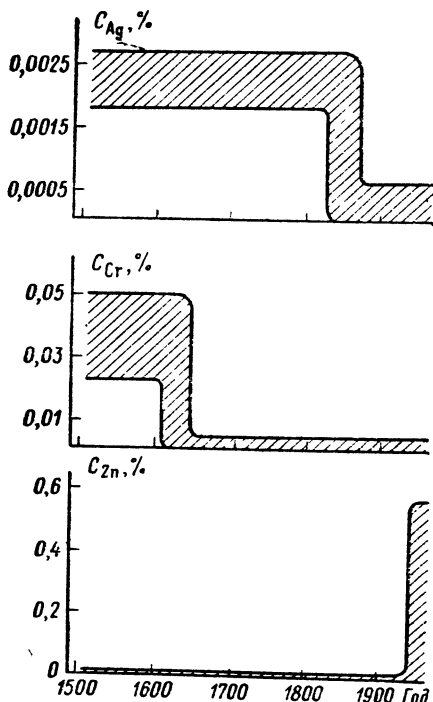


Рис. 35. Содержание серебра, хрома и цинка в белой краске картин, написанных с 1510 по 1963 г. по результатам нейтронно-активационного анализа [51].

Линии, ограничивающие заштрихованные поля, соответствуют минимальным и максимальным концентрациям микроэлементов.

ституте радиохимии при Техническом университете в Мюнхене [63]. Здесь также анализировались образцы белой краски со старинных картин, но нескольких живописных школ. Фламандское искусство XVI—XVII вв. было представлено картинами Рубенса, Вермеера, Янсенса и других художников, венецианская живопись XVI в. — картинами Тициана и Тинторетто. Исследовались и картины средневековых немецких художников.

Масса образцов была совсем малой, она составляла десятые, а иногда даже сотые доли миллиграмма. Тем не менее, интенсивный поток нейтронов и радиохимическая обработка активированных образцов обеспечили высокую чувствительность метода. Пределы обнаружения примесных элементов в образцах краски массой в 0,1 мг составляли: для марганца, серебра и золота — $10^{-5}\%$, ртути — $5 \cdot 10^{-5}\%$, меди и сурьмы — $10^{-4}\%$, хрома и олова — $2 \cdot 10^{-4}$ и $3 \cdot 10^{-4}\%$, бария — $10^{-3}\%$. Правда, особо малые размеры образцов потребовали увеличения времени измерения наведенной гамма-активности до 13 часов.

Результаты анализа показали, что примесный состав белой краски непосредственно связан с местом, где создавалась та или иная картина. Отчетливые различия устанавливаются для старинных картин фламандских и венецианских мастеров. Белая краска первых содержит значительно меньше марганца, но больше серебра и сурьмы. Безошибочным можно считать простой критерий: если в белой краске отношение марганца к серебру меньше единицы, то картина представляет фламандскую школу XVI—XVII вв.; если же это отношение больше единицы, то картина принадлежит венецианской школе XVI в.

Люкс с сотрудниками сообщают также о нейтронно-активационном определении примесей в белой краске одной из картин, выполненной в стиле старофламандских мастеров известным фальсификатором. В краске изготовленной им картины «Христос и Магдалина» оказалось менее 0,0007% серебра, в то время как для белил, использовавшихся фламандскими художниками XVI и XVII вв., характерны значительно большие содержания этого элемента.

Подлинные и поддельные картины Ральфа Блэйклока. Для проверки подлинности картин помимо нейтронно-активационного анализа образцов краски можно привлечь и еще один метод, основанный на облучении всей поверхности вызывающего сомнения полотна. В этом случае после облучения нейтронами исследуют распределение по поверхности суммарной активности образованных ядер (так называемая автораддиография) или же отдельных радиоизотопов. Подобным образом были проанализированы, например, картины выдающегося американского художника XIX в. Ральфа Блэйклока.

Специалисты утверждают, что картины Ральфа Блэйклока занимают первое место в США по числу их подделок. Во многом это объясняется трагическими обстоятельствами жизни и

творчества художника. Ральф Блэйклок работал преимущественно в жанре пейзажа, некоторые из его ранних картин написаны в духе барбизонской школы. Однако это был своеобразный мастер, которого отличали собственная манера и оригинальная техника. Блэйклок был довольно плодовит. Помимо многочисленных пейзажей у него есть серия картин, представляющих быт североамериканских индейцев.

Но признание не приходило к художнику. Свои произведения он вынужден был продавать за бесценок. Постоянные заботы о большой семье, существовавшей на скудные заработки Блэйклока, привели его в 1899 г. к тяжелому нервному расстройству. Художника, которому тогда было 52 года, поместили в психиатрическую больницу, где он пробыл с краткими перерывами двадцать лет, до самой смерти.

Друзья Блэйклока время от времени устраивали небольшие выставки его картин, интерес к ним постепенно возрастал. Наконец, в 1915 г. Национальная академия США избрала художника академиком живописи. Успех был поздним, но бурным. Цены на картины Блэйклока быстро поднимались. В 1916 г. одна из его картин была продана на аукционе за очень солидную по тем временам сумму — 20 тыс. долл. Это событие освещалось на первых страницах американских газет.

Тогда-то и начали появляться подделки. Множество их относится к 20-м и 30-м годам, но встречаются сравнительно «свежие» фальсификации. На некоторых картинах малоизвестных художников — современников Блэйклока — замазывались подписи авторов и подделывалась подпись художника, ставшего знаменитым. В связи с этим определенную роль сыграло следующее обстоятельство. Когда Ральф Блэйклок заболел, его дочь Мариан, чтобы поддержать семью, сама принялась писать картины для продажи. Она была ученицей отца, и стиль ее работ в общем напоминал стиль Блэйклока. Недобросовестные посредники и торговцы-мошенники заменяли подпись Мариан на картинах подписью отца и перепродавали их по значительно более высоким ценам. Когда Мариан Блэйклок узнала об этом, она тоже заболела психическим расстройством.

Сейчас картины Ральфа Блэйклока занимают почетное место в самых крупных и известных американских музеях: нью-йоркском Метрополитен, вашингтонской Национальной галерее и др. В начале 70-х годов ряд его картин из музейных собраний и частных коллекций был исследован с помощью нейтронов. Вместе с ними изучалось несколько картин двух современников Блэйклока — Джорджа Иннеса и Альберта Райдера, а также его дочери Мариан. В результате тщательной работы удалось установить, что из проанализированных картин Блэйклока две на самом деле не принадлежат его кисти.

Исследование проводилось в одном из ведущих атомных центров США — Брукхейвенской национальной лаборатории

[28] — и отличалось оригинальной методикой: нейтронная автордиография сочеталась с гамма-спектроскопией высокого разрешения.

Картины были доставлены в Брукхэйвен и установлены вблизи ядерного реактора. Один из выходных каналов этого реактора открыт, и из него вылетают тепловые нейтроны, распространяющиеся широким пучком, что позволяет облучать большие объекты.

Чтобы облучить картины целиком, их располагали в зависимости от размера на разных расстояниях от выходного канала. В месте облучения стремились создать максимально однородный по площади поток нейтронов, для этого использовались большие сетки из тонкой железной проволоки. Контроль за однородностью осуществлялся измерением активности радиоизотопа ^{59}Fe в разных точках сетки. Время облучения картин составляло от 45 мин до полутора часов. Так как поток нейтронов был относительно слабым, то радиоактивность картин была безопасной для будущих посетителей музеев, но вполне достаточной для исследования.

Автордиографию и гамма-спектроскопию облученных нейтронами картин проводили в несколько этапов. Сразу же после облучения делалась первая экспозиция для автордиографии. К поверхности картины прикладывался «сэндвич», в котором находились рентгеновская пленка и обычная фотопленка. Последняя была менее чувствительной, чем рентгеновская, но имела мелкозернистую эмульсию. Размеры пленок равнялись размерам картин. Изображения, получаемые на обеих пленках, удачно дополняли друг друга.

Первая экспозиция из-за высокой активности короткоживущих изотопов длилась всего несколько минут. Затем сразу проводились гамма-спектрометрические измерения. Детектор гамма-излучения располагался на сравнительно большом расстоянии от облученной поверхности, так, чтобы он «видел» всю картину. Поэтому измеряемый спектр содержал информацию, усредненную по просматриваемой площади. Ко второму этапу измерений приступали спустя несколько часов: сначала шла экспозиция нового «сэндвича» из двух пленок, потом — гамма-спектроскопия. Третий этап измерений осуществлялся через 3 дня, четвертый — через неделю и пятый — через три недели после облучения. Длительность экспозиции «сэндвича» для автордиографии и время получения гамма-спектров увеличивались от этапа к этапу.

Цель нейтронной автордиографии — выявить скрытые детали картин, и в этом отношении она обладает преимуществами перед просвечиванием картин рентгеновыми лучами. Рентгеновская радиография также обнаруживает скрытые детали, но только те, которые связаны с распределением красок, содержа-

ших тяжелые элементы, в основном свинец. Исследование в рентгеновых лучах фактически дает полные сведения о распределении лишь одной краски — свинцовых белил. Эти сведения важны, поскольку со свинцовыми белилами часто смешивают другие краски, однако информация, получаемая с помощью нейтронной автордиографии, значительно богаче. Под действием нейтронов становятся радиоактивными многие элементы, входящие в состав различных красок, и могут быть выявлены подробности, обусловленные распределением не одной, а целого ряда красок.

Гамма-спектроскопия дополняет нейтронную автордиографию. Если по данным нейтронной автордиографии, полученным через разные интервалы времени, можно лишь приблизительно и качественно судить об элементном составе красок, то по гамма-спектрам четко определяются активированные излучатели, а значит, и сами элементы.

В процессе работы физики из Брукхейвенской национальной лаборатории постоянно консультировались с авторитетными американскими искусствоведами — специалистами в области живописи, помогавшими интерпретировать данные. В результате была получена масса новых сведений о технике Блэйклока и о тех красках, которые он применял. Краски на безусловно подлинных картинах Блэйклока отличались своеобразным набором химических элементов. Среди них сравнительно много натрия, калия и хлора. Эти элементы попали на картины из разбавленных красок: в XIX в. в состав некоторых разбавителей добавляли щелочные соединения, поваренную и каменную соль. Блэйклок широко пользовался красящими пигментами, характеризующимися повышенными содержаниями железа, цинка, бария, мышьяка, ртути и марганца.

Гамма-спектры облученных картин Блэйклока, измеренные сразу же после активации, неизменно указывали на доминирующую активность двух короткоживущих радионуклидов: марганца ^{56}Mn и натрия ^{24}Na , периоды полураспада которых составляют соответственно 2,6 и 15 часов. Однако излучение картины «Ночная аллея» было совершенно иным. В нем резко преобладали пики радиоактивного алюминия ^{28}Al с периодом полураспада 2,3 минуты. В течение многих лет автором «Ночной аллеи» считался Блэйклок, так было указано и в музейной табличке. Аномальное содержание алюминия вызвало сомнение в этом. Выяснилось, что на картине присутствует особый органический пигмент, скрепляющей основой которого служит соединение алюминия. Таких пигментов Блэйклок не употреблял. С другой стороны, красок, в которые входят элементы, широко представленные в красках Блэйклока, на картине «Ночная аллея» не было. Целый ряд отличий этой картины от картин Блэйклока выявила нейтронная автордиография — в частности, совершенно другими были характер группировки, структура и распреде-

ление отдельных мазков. Наконец, при последней автордиографии «Ночной аллен» в ее правом нижнем углу проступили инициалы «D. G». При просвечивании картины рентгеновыми лучами эти буквы видны не были. Кому принадлежат инициалы «D. G», установить не удалось, но стало ясно, что картина написана не Блэйкклоком. Музейную табличку пришлось заменить, теперь на ней значится: «Неизвестный художник».

Среди исследовавшихся в Брукхэйвене картин была и «Женщина в красном». Эта картина — из частной коллекции, в свое время она была приобретена за крупную сумму как картина Ральфа Блэйкклока. Действительно, «Женщина в красном» выполнена в манере Блэйкклока, подозрений в подлинности не возникало. Гамма-спектр показал, что в ее красках много марганца, как и в красках Блэйкклока, но натрия и калия значительно меньше. Эти различия, возможно, остались бы без внимания, если бы нейтронная автордиография не выявила нечто весьма существенное. В левом нижнем углу картины, напротив подписи Блэйкклока, обнаружились следы соскобленной подписи, которые не были видны ни на поверхности картины, ни при ее исследовании в рентгеновых лучах. Нейтронная автордиография позволила установить, что соскобленная подпись состояла из двух довольно длинных слов, причем первое из них начиналось буквой «М», а заканчивалось буквой «н». Напрашивался вывод, что это могли быть следы подписи дочери художника — Мариан Блэйклок. Чтобы проверить возникшее предположение, достаточно было сравнить проступившие следы с подлинной подписью Мариан Блэйклок. Взаимное расположение обоих слов, а главное, начертания букв «М» и «н» оказались одинаковыми. Можно было считать доказанным, что «Женщина в красном» — одна из тех картин, которые принадлежали кисти дочери, а продавались как картины ее отца, Ральфа Блэйкклока.

Выявление подделок из старинной бронзы. В последние годы ученые, а также коллекционеры разных стран проявляют возрастающий интерес к старинным научным инструментам — секстантам, солнечным часам, астролябиям, телескопам и др. Эти предметы, изготовленные из бронзы, отличаются строгостью линий и пользуются большим спросом в антикварных магазинах Парижа, Лондона, Брюсселя. Неудивительно, что на Западе появляется все больше подделок. Французский журнал «Искусство и редкости» стал даже публиковать списки обнаруженных подделок.

Качество поддельных инструментов довольно высокое, даже специалистам трудно отличить их от настоящих. Внешних признаков, свидетельствующих о подделке, очень мало. Фактически их только два: во-первых, в выгравированных на корпусе факсимиле якобы старых мастеров можно заметить сходное написание отдельных букв; во-вторых, некоторые детали из листовой бронзы инструментов, приписываемых разным известным в про-

шлом мастерским, имеют подозрительно одинаковую толщину, совпадающую до сотых долей миллиметра.

Указанные признаки малоэффективны для надежного установления факта подделки. Гораздо больше сведений приносит качественный и количественный состав примесных элементов в бронзе, из которой сделаны инструменты. Нейтронно-активационный анализ показал, что в отличие от современной в старинной бронзе намного выше содержания золота и серебра, а также цинка, ртути, кобальта, сурьмы.

О том, насколько эффективно и надежно распознается современная и старинная бронза по микропримесям, определяемым методом нейтронной активации, можно судить на примере исследования, проведенного П. Джорданом и К. Мэем в лаборатории радиохимии Высшей технической школы Цюриха [55]. Объектом изучения служили бронзовые солнечные часы ручной работы с маркой славившейся в XVIII в. французской мастерской «Ле Мэр в Париже». Эти часы для своей эпохи отличались высокой точностью, по ним можно было определить время с погрешностью в одну минуту. Внешних признаков того, что присланный на экспертизу инструмент — поддельный, не наблюдалось. Не было подозрений и у владельца.

Джордан и Мэй сняли с проверяемых часов одну деталь массой около пяти граммов и поместили ее на 100 секунд в интенсивный поток реакторных нейтронов. Вместе с этой деталью нейтронами облучались еще два образца: сходная деталь заведомо подлинного инструмента мастерской «Ле Мэр в Париже» и кусок современной бронзы с такой же массой.

Спектр гамма-излучения каждого образца, активированного нейтронами, измерялся 5 раз, спустя разные интервалы времени. Первые определения осуществлялись через 2—3 часа, последние — через 26 дней после облучения. На рис. 36 приведены спектры гамма-излучения образцов через 26 дней после активации. Даже качественное их сопоставление позволяет легко выявить поддельный инструмент. Из рисунка видно, что спектры современной бронзы и якобы старинных солнечных часов полностью совпадают, в них одинаково проявляются пики, обусловленные излучением радиоактивных изотопов цинка, кобальта и серебра. В бронзе настоящего старинного инструмента больше примесей: в спектре четко обозначен пик, вызванный излучением радиоактивного золота, а также пики, связанные с распадом изотопов олова, ртути и сурьмы. Спектр показывает и повышенные содержания серебра и кобальта.

Таким образом, сразу же после измерения спектров стало очевидно, что исследуемый инструмент — подделка, изготовленная из современного сплава. Количественные определения подтвердили этот вывод. Например, концентрация золота в подозреваемом инструменте и в образце современной бронзы была практически одна и та же — около $4 \cdot 10^{-6}\%$, а в детали подлин-

ных часов она оказалась в 10 тыс. раз больше. Ясно, что технология выплавки бронзы в XVIII в. существенно отличалась от современной технологии, характерной чертой которой является высокая очистка исходных металлов от различных примесных элементов.

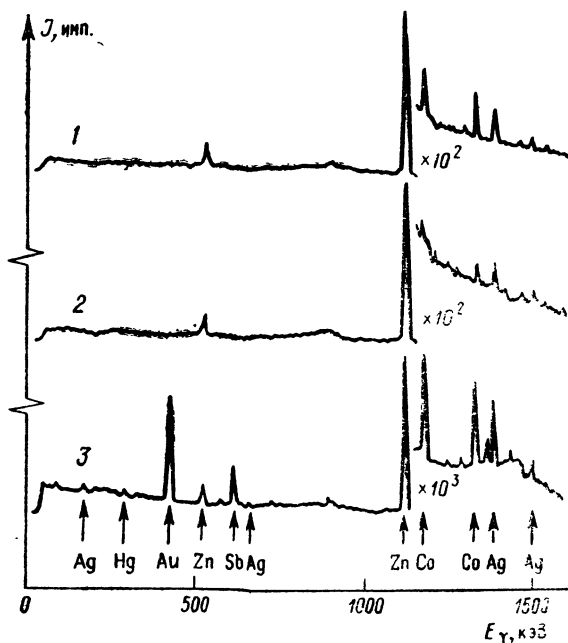


Рис. 36. Гамма-спектры образцов, активированных нейтронами [55].

1 — современная бронза; 2 — проверяемый инструмент, оказавшийся подделкой; 3 — подлинный французский инструмент XVIII в.

Иногда отличить современную бронзу от старинной удастся применением более простого метода определения примесей — радиоизотопного рентгенофлуоресцентного анализа. Физики из Эдинбургского университета использовали этот вид анализа для проверки подлинности бронзовой статуэтки, которую Национальный музей в Шотландии намеревался приобрести у одного антиквара. Последний утверждал, что статуэтка — древнегреческая и относится к VI в. до н. э. Исследование подлинных произведений искусства Древней Греции показало, что в бронзе той эпохи довольно много свинца и олова. Эти примесные элементы легко обнаруживались путем «освещения» поверхности рассматриваемого объекта гамма-лучами изотопа ^{241}Am и регистрации возбуждаемого рентгеновского излучения полупроводниковым детектором с высоким энергетическим разрешением. Когда точно таким же способом исследовали статуэтку, выяснилось, что в ее бронзе содержания свинца и олова крайне малы. В Древней

Греции не умели делать сплав, в такой степени свободный от примесей. Предлагавшаяся вещь явно была изготовлена из современного металла.

Факт подделки был установлен на основе анализа, выполненного на аппаратуре фирмы «Нуклеар энтерпрайзес лимитед», специализирующейся на выпуске приборов для ядерно-физических исследований. Любопытно, что впоследствии эта фирма использовала случай в Эдинбурге для целей рекламы. На рекламном проспекте своих приборов фирма воспроизвела фотографии-статуэтки и спектров рентгеновского излучения, служивших документами ядерно-физической экспертизы.

Спор о карте Винланда. Изучение средневековых карт имеет важное научное значение. По ним историки и географы судят о том, как со временем менялись представления людей о «лике Земли». Во многие старинные географические карты вложен труд художников, и они по праву приравняются к произведениям искусства.

В 1965 г. настоящую сенсацию вызвало сообщение о находке так называемой карты Винланда, возраст которой якобы превышал 500 лет [10, 77]. Спор о подлинности этой карты, изображавшей то, что считалось неизвестным в XV в., продолжался почти 10 лет. Решающим оказался анализ состава чернил карты.

Появление на свет нашумевшей карты Винланда, а ей посвящено около 400 научных статей, связано с именем итальянского букиниста Энцо Ферраджолли. Летом 1957 г. Ферраджолли показал сначала в Лондоне, а затем в Париже и Женеве сравнительно небольшую по размерам (29 на 41 см) карту мира, выполненную на пергаменте. На карте по латыни надписаны 62 названия и дано 7 пояснений (легенд). Карта переплетена вместе с латинским манускриптом, содержащим отчет о путешествии в 1245—1247 гг. Плано Карпини, который был послом римского папы Иннокентия IV, на Восток, к великому хану монголов. Этот отчет дошел до нашего времени в нескольких списках, и его подлинность не вызывала сомнений. Карта, служившая, очевидно, иллюстрацией к описанию путешествия Карпини, была найдена впервые.

Датирование манускрипта не представляло затруднений: его бумага имела филигрань (водяные знаки), характерную для известной бумажной мануфактуры в Швейцарии. С середины XIV в. эта мануфактура ставила на своей бумаге водяной знак в виде головы быка, как раз такие знаки и были на рукописи, переплетенной с картой. С другой стороны, почерк всех надписей на карте и текста рукописи был явно одним и тем же. На этом основании карту Винланда датировали приблизительно 1440 г.

Во время пребывания в Лондоне Энцо Ферраджолли встретился с крупным книготорговцем Джозефом Дэвисом, который посоветовал ему показать карту в Британском музее. Ведущие

научные сотрудники музея сразу же обратили внимание на необычные для средневековых карт изображения. В северо-западном углу карты, привезенной Феррадхолли, находится огромный остров, на котором видны две большие реки, текущие с запада на восток и впадающие в океан. Согласно легенде, это остров Винланд, открытый якобы епископом Генрихом (Эйриком), путешествовавшим в 1117—1118 гг.

Остров Винланд расположен на карте на месте Северной Америки. В этом и заключалась первая (и главная) сенсация. Получалось, что средневековый картограф знал об Америке и о ее открытии норманнами. Две реки, изображенные на карте, вполне могли соответствовать реке Святого Лаврентия и Гудзону. Таким образом, на карту, созданную за 50 лет до открытия Колумба (1492 г.), Америка уже была нанесена. Разумеется, встал вопрос, а не отправился ли Колумб в известные земли?

Вторая сенсация касалась Гренландии. Она изображена на карте удивительно точно. Еще в XVIII в. Гренландию считали полуостровом, а ее северный берег был картирован только в 20-х годах XX в. На карте же Винланда Гренландия — остров, причем с весьма правильными очертаниями северного берега. Напрашивался вывод о том, что норманны хорошо знали Гренландию, плавая вокруг нее. Распространенное мнение, будто норманны не пользовались картами и не чертили их, представлялось ошибочным.

Осенью 1957 г. карта Винланда демонстрировалась в одной из галерей Женевы. Здесь ее увидел американский антиквар Лоуренс Уиттен. Он пожелал приобрести карту и рукопись. Возвратившись в США, Уиттен познакомил со своим приобретением ученых Йельского университета: специалиста по средневековой литературе Томаса Марстона и хранителя карт Александра Вьетора. Последний спросил, не продаст ли Уиттен карту Винланда, но тот отказался.

Вскоре после встречи с Уиттеном Марстон, рассматривая каталог редкостей английской фирмы, обратил внимание на то, что в перечне находится фрагмент известного труда «Историческое зеркало» («*Speculum historiae*»), принадлежавшего перу энциклопедиста XIII в. Винсента де Бовэ. Фрагмент включал две главы «Зеркала» и стоил всего 75 долл. Марстон перевел деньги в Лондон — и через несколько дней манускрипт был на его столе. Почерк показался ему сходным с тем, которым были сделаны надписи на карте Винланда. Ученый снова встретился с Уиттеном. Действительно, почерк отчета папского посла, карты и «Зеркала» был одним и тем же. Более того, в обоих манускриптах имелись ходы, проложенные книжным червем, и они совпали. Это доказывало, что манускрипты составляли когда-то единый кодекс и в силу почти невероятного стечения обстоятельств опять соединились.

Весной 1959 г. Уиттен согласился, наконец, продать карту Винланда и отчет о путешествии Йельскому университету, но запросил непомерно высокую цену. Нужна была помощь кого-либо из богачей-меценатов. Такой меценат нашелся, но пожелал остаться неизвестным. Анонимный благодетель передал университету кодекс для изучения. В 1965 г. материалы кодекса были опубликованы.

С картой Винланда, снабженной обширными комментариями, стали знакомиться ученые многих стран. Сенсационный характер опубликованных данных сразу же вызвал споры о подлинности карты. Некоторые ученые, в частности профессор-географ Ева Тэйлор, высказывали мнение о подложности карты. В 1967 г. карта Винланда демонстрировалась в музеях Скандинавских стран и Голландии, а также в Британском музее, где она подверглась микроскопическому исследованию. Было установлено, что чернила карты отличаются от чернил отчета о путешествии и «Зеркала». Кроме того, под микроскопом было видно, что ходы книжного червя в пергаменте карты и рукописях совпадают не полностью. В ноябре 1967 г. в вашингтонском Смитсоновском институте состоялась специальная конференция по проблемам карты Винланда. Многие из ученых, как американских, так и европейских, заявили, что карту следует считать фальшивкой. Эти утверждения, однако, базировались на умозрительных заключениях, для категорических выводов были необходимы конкретные факты.

В 1968 г. Йельский университет обратился к чикагской фирме «Маккроун ассошиэйтс» с просьбой провести анализ чернил карты Винланда. В 29 местах карты были взяты соскобы чернил. Результаты экспертизы Британского музея подтвердились. Чернила на карте резко отличались от тех, которые применялись средневековыми писцами. В них было очень мало железа, не содержались обычные для европейского средневековья примеси сепии, сока толокнянки, индиго. С другой стороны, в чернилах карты Винланда наблюдались высокие концентрации ряда неорганических соединений, прежде всего двуокиси титана. После того как образцы красящего пигмента чернил подверглись исследованию рентгенодифракционным методом, выяснилось, что в пигменте присутствуют кристаллики анатаза (химическая формула TiO_2) и карбоната кальция (CaCO_3). Однако измерения носили качественный характер.

В 1972 г. фирма «Маккроун ассошиэйтс» выполнила новый этап исследований, на этот раз используя электронный микронзонд. С начала 70-х годов электронный микронзонд стал мощным научным инструментом и сейчас широко применяется в различных целях. Ускоренный до небольшой энергии (несколько десятков килоэлектронвольт) пучок электронов фокусируется специальными электромагнитными линзами и направляется на объект. Под действием электронов атомы элементов, из кото-

рых состоит объект, возбуждаются. Снятие этого возбуждения сопровождается испусканием характеристического рентгеновского излучения. Интенсивность последнего измеряется кремнево-литиевым полупроводниковым детектором. Высокая разрешающая способность детектора по энергии позволяет регистрировать одновременно излучение нескольких элементов, т. е. вести многоэлементный анализ. Чувствительность такого анализа сравнительно невелика, она во много раз ниже чувствительности, к примеру, нейтронно-активационного анализа. Но электронный микрозонд способен дать информацию о содержаниях элементов в крайне малых объектах — порядка нескольких микрометров.

Количественный анализ чернил карты Винланда электронным микрозондом позволил определить содержания 13 элементов. Концентрация титана варьировала от 3 до 45%, кальция — от 3 до 18%. В то же время содержание железа ни разу не превысило 2%. Но наиболее показательным был состав кристалликов анатаза в чернилах карты. В природном анатазе (двуокиси титана) всегда находятся примеси железа, марганца и других элементов. Исследуемый же анатаз оказался химически чистым, а химически чистая двуокись титана появилась лишь после 1920 г. Столь же чистым был и карбонат кальция, т. е. мел. Можно было утверждать, что и двуокись титана, и мел приобретены совсем недавно в магазине химических реактивов.

В 1974 г. Королевское географическое общество Великобритании провело в Лондоне специальный симпозиум, посвященный карте Винланда [77]. На нем были представлены результаты всех последних экспертиз, в том числе и полученные с электронным микрозондом. Вывод, касающийся элементного состава чернил, был своего рода смертным приговором карте, вызвавшей сенсацию и так много споров. Подлог был разоблачен.

Синтезировали ли кристаллы во времена Нефертити? Более тридцати трех столетий отделяет нас от древнеегипетской царицы Нефертити, облик которой ныне широко известен благодаря бесчисленным репродукциям с великолепных скульптурных портретов. Точные даты жизни Нефертити и ее супруга Аменхотепа IV Эхнатона, десятого фараона XVIII династии египетских царей, не установлены. Вероятно, Аменхотеп IV был не только супругом Нефертити, но и ее сводным братом — в Древнем Египте престол наследовался по женской линии, фараоном становился муж царевны-наследницы. Начало царствования Аменхотепа IV разные источники относят к 1364 либо к 1372 или даже к 1419 г. до н. э. Это связано с тем, что у древних египтян не было календаря с точно фиксированной датой, и потому все документы датировались с момента вступления на престол нового фараона.

Правление супруга Нефертити продолжалось почти 17 лет и знаменовалось перестройкой всей общественной жизни стра-

ны. Аменхотеп IV вступил в борьбу с могущественной знатью и жречеством, исповедовавшим культ верховного божества — Амона, главный храм которого находился в Фивах. Он провозгласил единственным богом Атона, олицетворявшего солнце, а все старые святилища и храмы приказал разрушить. Фараон-реформатор покинул Фивы и основал новый город на пустом месте, свободном от культов древних богов. Появилось новое жречество, преданное Аменхотепу, в честь бога солнца Атона устраивались пышные церемонии, центром нового культа стал построенный далеко от Фив город Ахтетатон. Фараон и его супруга переменили свои имена, он стал называться Эхнатомом, что означает «Угодный Атону», она — Нефернефруатон («Прекрасна красота Атона»).

В Ахтетатоне творил придворный ваятель Тутмес, увековечивший в камне царственную чету. Мастерская Тутмеса занимала несколько помещений, в них трудились многочисленные помощники главного скульптора, хранились куски камня различных пород, формовался гипс, готовились краски, отдельно размещались готовые и забракованные статуи. В специальной комнате располагались модели самых лучших творений, среди которых и были чудом уцелевшие бюсты Нефертити, спрятанные от человеческих взоров в течение более трех тысяч лет.

Реформы Эхнатона оказались недолговечными, вскоре после его смерти был восстановлен прежний порядок. Все, что было связано с прославлением божественного солнца, с именами Эхнатона и Нефертити, беспощадно уничтожалось. Город Ахтетатон был превращен в развалины. И лишь мастерской Тутмеса повезло, она пострадала сравнительно немного.

В 1912 г. Германское общество изучения Востока направило в Египет археологическую экспедицию, которую возглавил Людвиг Борхардт. Экспедиция начала раскопки на территории бывшего Ахтетатона, в местности, называемой сейчас Амарна. Никто не предполагал, что здесь будут найдены памятники, которые дадут возможность прочесть неизвестные страницы истории Древнего Египта.

Было уже раскопано множество остатков домов древней столицы Эхнатона, когда в центральной части города археологи наткнулись на кирпичную стену, ограждавшую ряд построек. Почти повсюду им стали попадаться фрагменты статуэток, каменные заготовки для скульптур, гипсовые маски. Это определенно указывало на род деятельности, которой занимались здесь в далекие времена. В конце концов нашли предмет из слоновой кости, по-видимому, часть крышки небольшого ящика, на ней можно было прочесть: «Хвалимый благим богом начальник работ скульптор Тутмес».

Через несколько дней была вскрыта комната с бюстами фараона и членов его семьи. Первым обнаружили сделанный в натуральную величину бюст Эхнатона. Он был раскрашен, но лицо

расколото на мелкие куски. Затем удалось найти скульптурные портреты Нефертити. Один из них, как показывала манера исполнения, предназначался быть парным бюсту Эхнатона с разбитым лицом. К счастью, он почти полностью уцелел. Это изображение также сделано в натуральную величину из известняка, местами дополненного гипсом, поверх которого лежат хорошо сохранившиеся краски.

О впечатлении, произведенном этим творением древнеегипетского искусства на археологов, лучше всего судить по дневнику раскопок Людвиг Борхардта. В тот день он смог внести в дневник только одну фразу: «Описывать бесполезно — смотреть!».

Особенность скульптурного портрета Нефертити состоит в том, что он изображает супругу Эхнатона в высоком головном уборе, представляющем собой, видимо, парик. Этот убор — синего цвета, который считался в Древнем Египте цветом волос богов и отождествлявшихся с богами правителей, о чем свидетельствуют иллюстрации на папирусах, фрески, стенная роспись в храмах и дворцах; иероглифами синего цвета писались титулы и имена богов и фараонов. Синие волосы Нефертити схвачены золотой повязкой с самоцветами, на лбу — золотая диадема, на шее — разноцветное ожерелье (рис. 37). Закономерен был вопрос: как древнеегипетские мастера добывались столь чистых тонов и каким образом придавали краскам такую поразительную прочность?

В 1920 г. бюст «синеволосой» Нефертити был помещен в один из берлинских музеев, в 1945 г. отряд американских оккупационных войск нашел его в глубокой соляной шахте, где он был спрятан вместе с другими сокровищами. Сейчас этот бюст причисляется к главным экспонатам Египетского музея в Западной Берлине.

Еще в 1923 г. были опубликованы результаты физико-химического исследования состава красок на скульптурном портрете Нефертити. И хотя возможности использованных тогда аналитических методов были весьма скромными, все же удалось получить указание на то, что в Древнем Египте применялись не натуральные, а искусственные красители. Однако сторонники традиционной точки зрения продолжали считать, что в древности употреблялись исключительно природные краски. Полная ясность в этот вопрос была внесена лишь в 1982 г., после того как кристаллографы из Швейцарского федерального института технологии в Цюрихе Г. Видеманн и Г. Бауэр предприняли детальное изучение красок на скульптурном портрете Нефертити с применением целого арсенала самых современных методов анализа. Главный вывод, следовавший из их работы, — в Древнем Египте знали секрет синтеза кристаллических веществ, необходимых для изготовления высококачественных красителей [80].

Швейцарские кристаллографы уделили основное внимание

...нему цвету — лазури. У египетской лазури свой оттенок, устойчиво сохранявшийся начиная с времен IV династии фараонов, ...е. за 2600 лет до нашей эры. Цвет этой краски близок к окраске известного минерала — лазурита. Последний, однако, не мог служить для приготовления красителя в нужных коли-



Рис. 37. Скульптурный портрет Нефертити, синяя краска для которого изготовлена путем синтеза кристаллов [80].

чествах, поскольку в Египте он редок и издавна высоко ценился. Большие потребности в синей краске вызвали необходимость использования искусственной смеси. Рецепт искусственного приготовления египетской лазури перешел в VI в. до н. э. в Древнюю Грецию, а позже — к римлянам. С падением Рим-

ской империи исчезла и знаменитая лазурь, и только в XIX в. было показано, что ее химический состав отвечает довольно сложной формуле — $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$.

Судя по формуле, можно было предполагать, что исходным материалом для египетской лазури служила смесь природных минералов, а именно кальцита или известняка с азурилом и кварцевым песком. Однако было неизвестно, умели ли древнеегипетские мастера создавать кристаллическую форму лазури. Только в том случае, если этот вид краски состоит из микрокристаллов, выращенных в оптимальном режиме, характерные оттенок и яркость будут сочетаться с высокой стойкостью синего цвета. Знали ли в Древнем Египте, в каких соотношениях надо брать исходные компоненты, каковы должны быть температурные условия, какие требуются ингредиенты в качестве катализаторов реакции? С помощью современных методов анализа и контроля удалось не только получить детальные сведения о составе и структуре вещества древнеегипетских красок, но и воспроизвести технологию синтеза кристаллов, которую применяли более трех тысяч лет назад.

В комплекс методов, использованных учеными в Цюрихе, входили рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия и электронное микрозондирование, а также термогравиметрия с дифференциальным термическим анализом. Дирекция Египетского музея в Западном Берлине разрешила взять со скульптурного портрета Нефертити образцы краски. Общая масса образцов составляла всего несколько сотых долей грамма, никакие следы повреждений на экспонате заметить было нельзя. Чувствительность применявшихся методов была вполне достаточной для работы с такими малыми количествами вещества.

Уже первые данные рентгеноструктурного анализа показали, что изучавшиеся образцы имеют бесспорно кристаллическую структуру. Сущность этого вида анализа основана на дифракции рентгеновских лучей. Если пучок рентгеновских лучей направить на порошок, состоящий из множества различно ориентированных, т. е. беспорядочно расположенных, кристалликов, то в образце всегда найдутся такие микрообъекты, для которых будет выполняться условие дифракции. Данное условие определяет способность плоскостей, в которых лежат атомы кристалла, отражать рентгеновские лучи под теми или иными углами. Каждый вид кристаллов обладает собственной характеристикой — постоянной решетки, ее величина обуславливает протекание процесса дифракции. Зависимость интенсивности отраженных лучей от угла у любого вида кристалла своя, при вполне определенных углах наблюдаются максимумы интенсивности, называемые рефлексами. Рефлексы, полученные при анализе синей краски со скульптурного изображения Нефертити, свидетельствовали о присутствии кристаллов кальцево-медного слоистого силиката с химической формулой $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$.

Синтез сложного силиката можно было осуществить, если взять по одной части окислов кальция и меди и четыре части окисла кремния. Тогда реакцию синтеза можно записать в следующем виде:



Чтобы воспроизвести эту реакцию в тех же условиях, в которых работали древние египтяне, надлежало использовать доступное в те времена сырье. Швейцарские исследователи взяли измельченные известняк и азурит в смеси с кварцевым песком. В дальнейшем оказалось, что пригоден далеко не всякий песок, например песок, привезенный из пустыни, был забракован из-за слишком большим содержанием в нем железа.

Смесь медленно нагревали в печи. Располагавшиеся в ней датчики приборов постоянно сигнализировали об изменении массы реагирующих веществ, о температуре и о том, какая обстановка господствует в данный момент — окислительная или восстановительная. По термогравиметрической кривой, показывающей зависимость весовых потерь реагирующей смеси от температуры, было видно, что в интервале от 300 до 400 °C шло разложение азурита с образованием окисла меди, а в интервале от 550 до 740 °C осуществлялось разложение известняка с появлением окисла кальция. При более высоких температурах начинался синтез окислов меди и кальция с окислом кремния, в результате которого образовывалось красящее вещество яркого цвета.

Опыты по синтезу повторяли много раз, пока не установили все оптимальные физико-химические условия получения высококачественного лазурного кристаллического кальциево-медного силиката. Выяснилось, что температура в печи не должна превышать 1000 °C, иначе происходит разложение уже готового вещества с необратимой потерей его цвета. Оказалось, что во время заключительного этапа реакции обстановка в печи должна быть окислительной, в противном случае двухвалентная медь в окисле восстанавливается до одновалентной, а это дает бурый цвет. Если не добавлялись катализаторы, то кристаллы вырастали слишком мелкими, и цвет краски получался бледным. В качестве катализаторов были испробованы поваренная соль, бура, сульфат натрия, папирусный пепел. Все они действовали примерно одинаково, кристаллы в их присутствии росли быстрее и достигали размеров в несколько десятков микрометров, что обеспечивало яркость лазури.

Эксперименты подтвердили реальность получения синтетического красителя требуемого цвета из того природного сырья, которым могли располагать мастера древнего Ахтетатона. Однако синтез сложного вещества со слоистой кристаллической структурой нуждался в строго определенной технологии и в жестком контроле за его процессом. Надо было точно взвешивать исход-

ные материалы, чтобы обеспечить необходимые соотношения между реагирующими веществами; должен был соблюдаться температурный режим — скорость нагрева не могла превышать шесть градусов в минуту и не могла быть меньше четырех градусов в минуту; нельзя было допускать ни реакции восстановления окисла меди, ни превышения максимальной температуры, равной 1000°С; обязательным было применение катализаторов.

Теперь нет сомнений, что практически все это было хорошо известно в Древнем Египте, где в течение многих веков владели секретом изготовления особой египетской лазури, служившей для украшения скульптур, стен зданий, текстов.

Как ученые приподняли завесу тайны «туринской плащаницы». В кафедральном соборе святого Иоанна-Крестителя города Турина уже несколько веков хранится одна из самых почитаемых религиозных реликвий — плащаница, или, иначе говоря, саван. По библейской легенде в нее было завернуто тело Иисуса Христа после снятия с креста. На плащанице, которая представляет собой кусок льняного полотна ручной выделки длиной 4,3 м и шириной 1,1 м, видно сделанное неизвестным способом изображение человека в полный рост. Это мужчина, худощавый, с небольшой бородой и усами. В пределах контура изображения имеются пятна красноватого цвета — на местах запястий и щиколоток, в верхней части головы и на правом боку, т. е. как раз там, где согласно Евангелию у Иисуса были кровоточащие раны.

История «туринской плащаницы» ретроспективно прослеживается с достоверностью лишь до середины XIV в. В то время вдова французского аристократа Жоффри де Шарнэ объявила, что у нее есть погребальное одеяние Иисуса Христа, якобы привезенное предком ее мужа из Константинополя после четвертого крестового похода, сто с лишним лет назад, в начале XIII в. Католическая церковь признала, «узаконила» реликвию и взяла ее на сохранение, хотя юридическим владельцем с XV в. и до сих пор является семья герцогов Савойских.

В туринском соборе плащаница хранится с 1578 г., ревниво скрываемая от посторонних глаз. На обозрение публики ее выставляют крайне редко, в этом столетии, например, было всего два показа. Последний из них состоялся в 1978 г., по случаю 400-летия пребывания реликвии в соборе Иоанна-Крестителя. За шесть недель ее осмотрели тогда 3 млн. человек.

Во время демонстрации плащаницы в 1898 г. итальянскому фотографу Секондо Пиа разрешили ее сфотографировать. Как только фотопластинки были проявлены, Пиа отметил странное обстоятельство: на негативах изображение оказалось значительно более четким, чем на оригинале. Этот эффект подтвердился при использовании более совершенной техники в 1931 г., когда другому фотографу, теперь уже французу, снова разрешили снять плащаницу. С помощью фотографии определили

точный рост человека, изображенного на полотне, — 178 см. Позже выяснилось, что на ткани нет никаких остатков красок — это было веским аргументом против гипотезы о том, что изображение сделано каким-то художником в средние века.

О «туринской плащанице» существует обширная литература. Есть и серьезные труды, и спекулятивные рассуждения, и просто фантастические «теории». Вопросов действительно много: где находился загадочный кусок полотна до середины XIV в.; каким способом нанесено изображение; кого оно воспроизводит; кровь ли в местах пятен; каков абсолютный возраст ткани?

Одним из первых научных исследований явилась работа швейцарского специалиста в области палинологии (науки о пыльце растений) Макса Фрея. С помощью стерильного пылесоса он извлекал из углублений между волокнами ткани плащаницы различные мельчайшие частички и рассматривал их под микроскопом. В отобранных таким способом образцах Фрей обнаружил пыльцу ряда растений, произрастающих не в Европе, а на Ближнем Востоке — в Египте, на юге Турции, на территории древней Палестины. Напрашивался вывод: изучаемое полотно, возможно, когда-то побывало в одном из названных мест.

Куда более надуманной по сравнению с этим осторожным выводом выглядит версия, изложенная историком Оксфордского университета Яном Уилсоном в книге «Туринаская плащаница», вышедшей в 1978 г. Уилсон пытается связать хранящееся в Турине полотно с полуполюгендарным саваном из Эдессы. Этот саван был якобы доставлен из Палестины в Эдессу (старое название города Уфа, на юге Турции) одним из учеников Иисуса Христа сразу же после снятия его тела с креста. В первые годы нашей эры эдесская реликвия была утеряна, однако в 525 г. в крепостной стене Эдессы обнаружили клад, содержащий кусок ткани с «портретом» человека. находка оставалась в Эдессе четыреста с лишним лет, в 943 г. ее перевезли в Константинополь. Оттуда она исчезла при взятии и разграблении города крестоносцами в 1204 г. Далее Уилсон предполагает, что среди грабителей-крестоносцев оказался предок Жоффри де Шарна, который, вероятно, был членом ордена рыцарей-тамплиеров, особо почитавших хоругви с изображением бородатого Христа. Интересно, что в VI в. иконография Христа радикально изменилась. Если ранее каждый живописец создавал совершенно отличный от других образ, причем часто изображался человек без бороды и усов, то с середины этого столетия появился своего рода стандарт: сравнительно молодой человек с печальным выражением глаз, с длинными волосами, на лице — борода и усы. Такие черты зафиксированы на «туринской плащанице», и такие же были на ткани, найденной в Эдессе в 525 г.

К явно фантастическим относится «теория», которая «объясняет» появление на туринском полотне человеческого изображе-

ния следующим образом. Оно будто бы возникло под действием мощного импульса особого излучения от тела Христа в момент... его воскресения. О физической природе этого излучения сторонники «теории» предпочитали умалчивать, но вместе с тем указывали, что следы именно такого необычного излучения создают на фотопластинках или фотопленке более четкое изображение, нежели на оригинале.

Однако недавно с помощью оптических методов было установлено, что появление изображения на полотне, о котором идет речь, может быть объяснено действием самых естественных причин.

Оптические методы наряду с другими современными физико-химическими методами исследования составляли часть обширной научной программы изучения «туринской плащаницы», которую предполагалось осуществить осенью 1978 г., после закрытия ее экспозиции. За два года до этого в США организовалось специальное научное общество, поставившее целью проведение широкого неструктивного, т. е. неразрушающего, исследования реликвии в Турине. Переговоры с церковниками-попечителями и с бывшим итальянским королем Умберто II, который в качестве главы семьи герцогов Савойских является в настоящее время формальным владельцем реликвии, привели к положительному результату. Конечно, ни о каком вывозе плащаницы из Турина не могло быть и речи, но в самом городе выполнить большую часть намеченной программы разрешили. Нужно было доставить в Турин из-за океана множество научных приборов и оборудования.

Дню, утвержденному для начала работы, предшествовала длительная и тщательная подготовка, поскольку лишь третий раз за всю историю хранения плащаницы ученые получили доступ к этому куску полотна. Раньше, в 1969 и 1973 гг., церковные власти приглашали в Турин итальянских специалистов, но тогда перед ними ставился очень ограниченный круг задач: исследовать состояние ткани и определить оптимальные условия ее дальнейшего хранения. И хотя основное внимание уделялось самой ткани, а не изображению на ней, итальянские ученые все же смогли констатировать, правда в пределах небольших возможностей использованных методов, полное отсутствие следов краски на участках, покрытых изображением.

Пожалуй, ни один археологический объект и ни одно произведение искусства никогда не были «атакованы» с привлечением столь мощного арсенала научных сил и средств, как туринская реликвия, изучавшаяся в течение нескольких дней и ночей октября 1978 г. Комплекс предназначавшихся для исследования методов включал такие, которые успешно зарекомендовали себя при решении различных проблем криминалистики, в выявлении всякого рода подделок. Многое было сделано для того, чтобы изучить ткань на атомно-молекулярном уровне.

Спектроскопия в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях, флуоресценция с различными видами возбуждения, радиография и инфракрасная радиометрия, химический микроанализ, фотография и микрофотография — вот далеко не полный перечень методов, приготовленных для «атаки». Большие надежды возлагались на анализ, способный дать информацию об элементном составе вещества. Так, с помощью возбуждения и регистрации характеристического рентгеновского излучения предполагалось установить, какие именно химические элементы присутствуют на поверхности ткани, нет ли среди них таких, которые входят в качестве примесей в краски. Интересной была бы при этом идентификация микроэлементов, обычно находящихся в человеческой крови.

Вечером 8 октября 1978 г. 25 исследователей, прилетевших из США, собрались в старинном дворце герцогов Савойских в Турине, куда по завершении показа в соборе Иоанна-Крестителя перенесли плащаницу. Несколько комнат правого крыла дворца было отведено для устройства временных лабораторий. Кардинал Баллестрано, архиепископ Турина, торжественно объявил, что ученым предоставляется недельный срок для проведения экспериментов, конечно, таких, при которых гарантируется целостность реликвии. Выделенного времени для тщательного исследования уникального объекта всеми методами было явно недостаточно. Например, в процессе рентгеноспектрального флуоресцентного анализа вещества поверхности полотна на измерение каждого спектра требуется несколько часов, а здесь пришлось ограничиться получасом.

Условия работы специалистов были далеки от идеальных. Дворец герцогов Савойских построен в XV в., полы в нем — деревянные, они начинали дрожать, стоило человеку пройти даже в отдаленном помещении. А ведь многие современные приборы требуют бетонных фундаментов. Из-за вибрации полов микрофотографии поверхности, в частности, удалось сделать лишь при сравнительно небольшом увеличении. Неудовлетворительным было и освещение, хранители реликвии требовали, чтобы количество солнечных лучей, падающих на нее, было минимальным. Правда, кратковременное использование мощных электрических ламп допускалось.

Затрудняло исследование плащаницы и ее состояние. В 1532 г. она была значительно повреждена, когда в часовне, специально построенной для нее по распоряжению герцога Савойского, вспыхнул пожар. Серебряная шкатулка, в которой хранилась сложенная ткань, начала плавиться, металл капал на полотно, и оно кое-где обуглилось. Прожженные места были залатаны и заштопаны монахинями в XVI столетии, но следы огня и воды, которой залили дымившееся полотно, остались.

Несмотря на трудности, ученые, прибывшие в Турин, сумели извлечь много ценной информации. Использовались главным

образом экспрессные методы исследования, поэтому некоторые результаты, по крайней мере качественные, стали известны уже в процессе измерений. Так, на местах пятен, считавшихся следами крови, с помощью спектроскопии были найдены небольшие количества железа, калия и хлора, т. е. микроэлементов, типичных для крови человека. На участках же ткани, покрытых изображением, не было обнаружено микроэлементов, которые могли бы свидетельствовать о присутствии красителей или красок.

По заранее составленному на всю неделю расписанию каждой исследовательской группе — «команде» специалистов — отводилось строго регламентированное время. Потом, уже в 1980 и 1981 гг., они опубликовали отчеты в научных журналах. По объему информации и надежности ее интерпретации стоит отметить работу двух «команд»: «рентгенщиков», занимавшихся рентгено-спектральным флуоресцентным анализом, и «микроскопистов», сделавших много цветных микрофотографий различных участков изучавшегося объекта.

Исследования методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа проводились Р. Моррисом, Л. Швальбе и Дж. Лондоном из Лос-Аламосского научного центра [68]. Они привезли с собой налаженную и испытанную аппаратуру, основу которой составляли специальный источник рентгеновских лучей и полупроводниковое устройство для детектирования излучения. Источником служила рентгеновская трубка, ее главная мишень, на которой тормозились электроны, была сделана из вольфрама, а вторичная — из олова, энергия испускаемых лучей равнялась 25,5 кэВ. Эти лучи направлялись под определенным углом на поверхность плащаницы, возбуждаемое ими рентгеновское характеристическое излучение элементов попадало в кремниеволитиевый детектор. Энергетическое разрешение детектора составляло 160 эВ, что обеспечивало полное разделение спектральных линий соседних по Периодической таблице элементов. Спектры регистрировались 512-канальным анализатором импульсов и записывались на кассетном магнитофоне.

«Рентгенщики» сняли 37 многоканальных спектров на 23 участках поверхности «туринской плащаницы». Участки выбирались так, чтобы исследовать, во-первых, свободные от изображения и пятен места, во-вторых, поверхность изображения и, в-третьих, пятна «крови». Облучавшаяся рентгеновскими лучами площадь каждого участка равнялась 130 кв. мм, а время измерения одного спектра излучения составляло 2000 секунд.

Спектры рентгеновской флуоресценции показали, что микро-элементный состав поверхности плащаницы не отличается разнообразием. С учетом чувствительности анализа, задаваемой пределами обнаружения, можно было говорить об отсутствии меди, мышьяка, брома, рубидия, иттрия, циркония, серебра, кад-

мия, олова. Пределы обнаружения варьировали от одного элемента к другому, но все же были достаточно низкими — несколько микрограммов на квадратном сантиметре. Только три элемента неизменно выявлялись при всех измерениях: кальций, стронций и железо, их количества удалось определить с хорошей точностью.

Отсутствие ряда микроэлементов, которые обычно входят в виде малых примесей в состав красящих веществ, подтвердило мнение о том, что изображение нанесено не красками. На это же указывало очень равномерное распределение по поверхности кальция и стронция, на участках с изображением концентрации ни того, ни другого элемента не увеличивалась. Распределение железа, напротив, было неоднородным. На местах пятен «крови» отмечалось явно повышенное его содержание, что согласовывалось с предположением о следах крови.

«Микроскописты» С. Пелликори и М. Эванс сделали в Турине высококачественные цветные микрофотографии, последующее изучение которых также привело к интересным выводам [71]. Под микроскопом большинство пятен, считавшихся «кровавыми», действительно выглядели как следы крови. На этих местах волокна ткани и щели между ними имели коричневатый цвет, такой, какой приобретает кровь со временем. Кое-где виднелись микросгустки, в точности походившие на свернувшуюся кровь. Но в некоторых местах их цвет был необычным, ярко-красным. Чтобы узнать, может ли высохшая кровь при определенных условиях сохранить свою окраску, исследователи обратились в американские музеи с просьбой подобрать соответствующий экспонат. Старая ткань, запятнанная кровью, — редкая вещь, самой почтенной по возрасту оказалась рубашка, которая была на Аврааме Линкольне в день его убийства в 1865 г. Ткани же, которой было бы несколько сотен лет, не нашли. Вопрос о ярко-красных пятнах остался открытым.

Однако цветные микрофотографии помогли объяснить происхождение «таинственного» изображения на плащанице. Увеличенные цветные фото различных участков полотна показывали, что контур изображения сформирован потемневшими волокнами. Известно, что целлюлоза, являющаяся основой ткани из льна или хлопка, со временем окисляется, обезвоживается и в результате темнеет. Это естественный процесс старения, действие тепла или света его ускоряет. Но ускорить старение ткани можно и химическим путем, например посредством активных газообразных веществ. Был поставлен такой опыт: льняное полотно выдерживали в парах, имитировавших выделения потовых желез человека, и различных ароматических веществ, использовавшихся в древней Палестине при похоронных обрядах. При достаточно высокой концентрации паров на полотне уже через несколько часов появлялись признаки искусственного старения. Как свидетельствовали цветные микрофотографии, потемнение

ребра. Впоследствии удалось установить дату захоронения клада, приблизительно 475 г. до н. э. Тайник был устроен, бесспорно, богатым по тем временам человеком.

Асьютский клад был поделен на три равные части, и каждый из счастливых приступил к реализации своей доли, стремясь возможно быстрее превратить ее в современные деньги. Вскоре монеты попали к нумизматам.

У ученых появилась мысль исследовать если не весь клад, найденный в Асьюте, то хотя бы его большую часть. Специалисты хотели не просто изучить внешний вид монет и тщательно рассмотреть их под микроскопом, а использовать для анализа современные физико-химические методы. Крайне интересным, например, представлялось изучение металла монет, количественное определение примесей в серебре. Но для этого следовало собрать монеты, которые уже успели рассеяться по всему свету.

Надо было привлечь к научному сотрудничеству подавляющее число новых владельцев монет, а многие из них не желали, даже на время, расстаться с драгоценными украшениями своих коллекций. Помимо гарантий, связанных с сохранением в тайне имен коллекционеров (нередко каналы, по которым к ним поступили асьютские находки, были довольно сомнительными), требовалось обеспечить беспрепятственное прохождение античных монет, застрахованных на крупные суммы, через таможенные барьеры. Энтузиастами этого хлопотного дела выступили сотрудник Британского музея Мартин Прайс и специалист по античной нумизматике из США Нэнси Ваггонер. В 1975 г. они смогли заявить, что собрали и каталогизировали 873 монеты из асьютского клада. В составленном каталоге описывались монеты, отчеканенные в целом ряде древнегреческих городов-государств, среди которых — Афины, Эгина, Коринф, Самос, Хиос и др. Одна из афинских монет, представленных в этом каталоге, изображена на рис. 38.

Значительная часть монет, обнаруженных в Асьюте, — 118 экземпляров — подвергалась детальному исследованию с помощью нейтронно-активационного, атомно-абсорбционного и масс-спектрометрического анализов. Инициатором этого эксперимента был проф. Вольфганг Гентнер из Института ядерной физики в Гейдельберге. С Гентнером, специалистом в области ядерной физики, работали Отто Мюллер и Гюнтер Вагнер, первый из них — химик, а второй — геолог.

Гейдельбергские ученые поставили перед собой несколько задач. Прежде всего, предстояло идентифицировать источники серебряных руд, которыми располагала Древняя Греция. Далее, нужно было найти ответы на ряд важных вопросов. Где находились главные месторождения серебра, металл которых шел на изготовление монет? Ограничивались ли греки собственным серебром, или же им приходилось его импортировать? Насколь-

ко чистым и свободным от посторонних примесей является серебро в монетах, отчеканенных без малого 25 столетий тому назад? Одинаков ли металл в монетах, выпускавшихся в разных древнегреческих полисах?

Идентификация тех рудников, в которых древние греки добывали серебро, по результатам изучения металла монет считалась весьма вероятной. Дело в том, что по современным дан-



Рис. 38. Афинская монета V в. до н. э. из клада, найденного в Асьюте [44].

ным чеканка монет в Древней Греции началась на рубеже VII и VI вв. до н. э., а в середине VI в. собственные монеты выпускались уже во всех городах-государствах. Но поскольку монеты, о которых идет речь, были спрятаны в Асьюте в самом начале V в., то вряд ли их металл был получен путем переплавления более ранних монет. Скорее всего, можно считать, что асьютские монеты сделаны из, так сказать, первичного серебра, непосредственно после добычи его из того или иного источника. А это значит, что металл монет должен иметь природные метки, дающие возможность установить местонахождение источника.

Следует отметить, что особый интерес вызвала идентификация источника серебра, из которого изготовлены эгинские монеты. На острове Эгина нет месторождений серебра и, согласно

историческим и геологическим сведениям, не было таковых и в далеком прошлом.

С самого начала работы было ясно, что при изучении асьютских находок и образцов руд из различных месторождений не обойтись без изотопного анализа свинца. Свинец очень часто сопутствует серебру в природных условиях, в больших или меньших количествах этот элемент всегда присутствует в серебряных монетах. Измерения, выполненные методом атомной абсорбции, показали, что концентрация свинца в асьютских монетах варьирует от 0,05 до 5 %. Такие содержания свинца достаточны для масс-спектрометрического анализа, даже если от монеты взять образец массой порядка миллиграмма. Очень многие монеты асьютского клада, находившиеся в распоряжении гейдельбергских специалистов, имели дефекты типа надлома (см. рис. 38), в местах этих дефектов было легко брать образцы. Несколько миллиграммов вещества, взятого от каждой исследованной монеты, разделяли на три части: одну направляли на изотопный анализ, вторую — на нейтронно-активационный, третью — на атомно-абсорбционный. Образцы отбирали с осторожностью, используя очень твердое сверло из карбида вольфрама. При этом предотвращалось «засорение» проб микроэлементами, которые могли перейти в них из материала инструмента.

Масс-спектрометр в Гейдельберге оказался неподходящим для прецизионного исследования монет, он не обеспечивал требуемой точности результатов изотопного анализа свинца. Поэтому гейдельбергские ученые обратились к оксфордскому профессору Ноэлю Гэйлу, который согласился участвовать в запланированной работе.

Одновременно с веществом монет нужно было изучить серебро из руд, чтобы иметь характеристики как можно большего количества источников металла, эксплуатировавшихся в прошлом. Группа немецких и английских исследователей объехала около 70 античных рудников, на это ушли четыре полевых сезона. Часть объектов найти было сравнительно легко, поскольку они упоминались еще Геродотом. К основным районам добычи серебра в Древней Греции Геродот причисляет Лаврион близ Афин и острова Сифнос и Фасос. Но он ничего не говорит о конкретных месторождениях или рудопроявлениях благородного металла. А для того чтобы опробовать месторождение надлежащим образом, необходимо взять образцы большинства отдельных рудных тел, его составляющих. Создание коллекции образцов, представляющих главные «серебряные точки» Древней Греции, потребовало долгой и кропотливой работы. Однако затраченные усилия не пропали даром, удалось, в частности, найти и исследовать такие рудники, которые относятся к раннеэгейской культуре, т. е. к III тысячелетию до нашей эры. Об этих результатах уже сообщалось в подразделе «Изотопы свинца рассказывают о бронзовом веке».

Помимо рудников в Древней Греции были опробованы места добычи серебра на Иберийском полуострове (территория современной Испании), на острове Сардиния и в Малой Азии. Считалось, что из этих месторождений серебро поступало в те древнегреческие полисы, которые не имели собственных рудников. Историки полагали, например, что Эгина ввозила иберийское серебро. Сравнение физико-химических свойств эгинских монет и руд из перечисленных районов должно было подтвердить или отвергнуть эту гипотезу. Надежность исследования денег, ходивших в античной Эгине, предопределялась тем, что в Гейдельберге была собрана 31 монета, отчеканенная на этом острове. Так много эгинских монет еще никогда и никем не изучалось.

Во всех образцах серебряных руд имелись ощутимые количества свинца, что обеспечило уверенную классификацию античных копий по данным изотопного анализа. Каждый рудный район Древней Греции получил собственный изотопный «паспорт», отличающий его от других районов. На диаграмме отношений $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ точки, отвечающие отдельным рудным районам, заняли индивидуальные неперекрывающиеся поля. Эта ситуация, уже рассматривавшаяся выше (см. рис. 14), свидетельствует о том, что каждый тип руды формировался в определенных геолого-геохимических условиях.

Минимальными значениями изотопных отношений характеризовался Лаврион, отношение $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в образцах его руд не превышало 2,065. В образцах другого крупного района серебряных руд Древней Греции, Сифноса, отношение $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ оказалось существенно выше, его значения заключены в интервале от 2,075 до 2,083. Образцы из всех остальных мест Греции, где в античные времена добывали руду, по изотопным характеристикам занимают промежуточное положение между образцами из Лавриона и Сифноса. Значения отношения $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в металле из этих районов лежат в диапазоне от 2,065 до 2,075. А образцы, взятые в иноземных рудниках, обнаружили совершенно иные изотопные свойства. Руды с Иберийского полуострова и острова Сардиния, а также металл малоазиатских месторождений обладают существенно большими изотопными отношениями, так, отношение $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ всегда превышает 2,100 [44].

Когда был проведен изотопный анализ образцов металла асютских монет и полученные данные сопоставили с результатами исследования руд, открылась простая и ясная картина. На диаграмме отношений $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ группы точек, соответствующих монетам того или иного города-государства, попали в определенные поля, что позволило сделать ряд утверждений. Во-первых, стало очевидным, что афинские монеты чеканились из серебра, добытого в Лаврионе. Это отнюдь не было неожиданным, поскольку лаврионские копи располагались на

афинской территории, рудный район отделяло от Афин всего 40 км. Во-вторых, диаграмма показывала, что ни один древнегреческий полис, в том числе и Эгина, не делал своих монет из иноземного серебра. Импорт драгоценного металла из-за моря обязательно отразился бы на изотопных свойствах примесного свинца в монетах, а измеренные величины изотопных отношений оказались существенно ниже тех, которые характерны для чужеземных месторождений. В-третьих, изотопные данные привели к выводу о том, что большинство эгинских монет изготовлено из металла, добытого на острове Сифнос. Но в то же время было видно, что часть эгинских монет отчеканена из лаврионского серебра. Последнее известие стало сенсационным.

Как могло серебро Лавриона попасть на Эгину? Ведь Лаврион находился на афинской земле, а Афины и Эгина были непримиримыми врагами. Это исключало возможность торговых обменов между ними. Эгина — небольшой остров, его площадь меньше 100 кв. км. Но уже в архаический период, т. е. в VIII и VII вв. до н. э., Эгина принадлежала к числу самых развитых греческих полисов. Эгиняне создали мощный морской флот, что позволило им принять участие в колонизации Египта и постоянно соперничать с сильными Афинами. В конце VI в. Эгина примкнула к Спартанскому союзу и помогла Спарте установить свою гегемонию в Греции. В 457 г. Афины заставили эгинян вступить в так называемый Морской союз, существовавший под их эгидой, но это не прекратило борьбы двух соперников. В 431 г. разразилась Пелопонесская война, охватившая большую часть греческих городов-государств. Афиняне оккупировали Эгину и изгнали с острова всех его жителей. Только после поражения Афин в Пелопонесской войне в 404 г. изгнанники возвратились на родину.

Изотопный анализ установил, что эгиняне имели доступ (по крайней мере, в течение определенного промежутка времени) к лаврионскому, т. е. афинскому, серебру. Чтобы попытаться объяснить этот факт, выдвинули довольно смелую гипотезу, согласно которой в далеком прошлом произошли события, до сих пор неизвестные историкам. В частности, предположили, что на каком-то этапе длительных военных действий между Афинами и Эгиндой завязалось морское сражение, в котором эгиняне вышли победителями и покорили часть афинской территории [5]. Более реальным, однако, является предположение о том, что афинское серебро попало на Эгину через третий полис. А возможно, что все-таки было время, когда Афины и Эгина жили в мире и торговали друг с другом.

Результаты изотопного исследования монет, найденных в Асьюте, подтвердились данными нейронно-активационного и атомно-абсорбционного анализов. С помощью этих двух методов удалось измерить содержания более десятка примесных химических элементов, присутствующих в металле монет, и среди

них золота, меди, никеля, кобальта, олова и др. Для нейтронно-активационного анализа брали образцы массой около 7 мг. Облучение нейтронами производилось на исследовательских реакторах двух ядерно-физических центров ФРГ — в Гейдельберге и Карлсруэ. Использувавшиеся потоки нейтронов были весьма интенсивными, их плотность доходила до $8 \cdot 10^{13}$ нейтронов на квадратный сантиметр в секунду. Время облучения составляло примерно час. Атомно-абсорбционный анализ применяли для определения свинца и олова — элементов, которые слабо активируются нейтронами.

Наиболее ценные сведения принесло исследование двух примесных элементов: золота и олова. Выяснилось, что по содержанию золота из всех монет асьютского клада выделяются афинские, золота в них оказалось лишь несколько сотых долей процента. Такой признак характерен для серебряных руд Лавриона, где примесное золото не типично. В эгинских монетах концентрация золота варьирует в очень широком диапазоне — от сотой доли до нескольких процентов. Это служит новым доказательством того, что серебро для монет поступало в Эгину из разных источников. Те эгинские монеты, изотопный анализ свинца которых установил их лаврионское происхождение, обнаружили самые низкие концентрации золота. Следовательно, и здесь проявилась тождественность серебра этих эгинских монет с серебром из Лавриона.

У эгинских монет с высокой концентрацией золота четко устанавливается важное отличительное свойство: в них повышено содержание олова. Между концентрациями золота и олова в этих монетах существует положительная корреляция, т. е. чем больше содержание первого элемента, тем больше в среднем и содержание второго. Это позволило высказать новую догадку о происхождении металла для монет Эгины. Геологи знают, что важнейший минерал олова — касситерит часто сопровождается благородными металлами (золото и серебро) в россыпных месторождениях. При этом золото и серебро могут находиться в составе так называемого электрума — природного сплава. В речных отложениях россыпных месторождений частички электрума нередко соседствуют с зёрнами касситерита.

Поскольку в серебре многих эгинских монет есть ощутимые количества и золота, и олова, то весьма вероятно, что где-то в античной Греции, на самой Эгине или на территории других полисов, эксплуатировались богатые месторождения типа россыпей. Древние металлурги, по-видимому, владели секретом химического разложения электрума, необходимого для отделения золота от серебра. Наверное, способ разложения был не очень совершенным, вследствие чего часть золота осталась в серебре и перешла в монеты.

Исследование асьютских монет, проведенное в Гейдельберге и Оксфорде, позволило установить и еще ряд фактов из исто-

рии древнегреческих полисов [44]. Они также базируются на объективных признаках вещества монет, пролежавших в тайнике два с половиной тысячелетия. Тонкие методы изучения металла монет дали не только качественные, но и количественные характеристики этих признаков.

Исследование древнеримских монет. Древнеримских монет в музейных и частных коллекциях значительно больше, чем древнегреческих. В последние годы древнеримские монеты изучались неоднократно с помощью различных физических методов. Полученные данные проливают новый свет на историю и экономику Древнего Рима.

Обширная коллекция серебряных древнеримских монет — около 700 экземпляров — исследовалась английскими физиками Д. Джиббонсом и Д. Лоусоном методом нейтронной активации [45]. Время чеканки практически всех монет было известно более или менее точно, оно охватывало три столетия существования Древнего Рима. Самая старая монета датировалась 27 г. до н. э. и относилась к правлению Августа, а самая «молодая» появилась в 275 г. н. э., при Аврелиане. Собрание было представительным в том смысле, что в нем находились большие группы монет, чеканившихся при императорах, правление которых было весьма недолгим.

Джиббонс и Лоусон решили измерить во всех монетах содержание одного элемента — серебра. Деньги в Древнем Риме имели серебряную базу (серебряный эквивалент), поэтому уменьшение количества серебра в монетах близкого достоинства прямо указывало бы на обесценивание денег, на инфляцию. Серебро хорошо активируется нейтронами, и нейтронно-активационным анализом можно обнаружить крайне низкие его концентрации. Но в исследовавшихся монетах серебро служило не примесным, а основным элементом. Поэтому было достаточно облучить коллекцию нейтронами в течение нескольких секунд.

Монеты облучались стопками по 25 экземпляров в потоке реакторных нейтронов плотностью 10^{12} на квадратный сантиметр в секунду. Время облучения каждой партии составляло 10 секунд. Поскольку серебро интенсивно поглощает нейтроны, приходилось учитывать снижение потока нейтронов, действующих на монеты внутри стопки. Для контроля за этим снижением между монетами помещались одинаковые кусочки серебряной фольги. По активности мониторинговых фольг можно было судить о величине потока нейтронов, облучавших каждый экземпляр.

В результате захвата нейтронов образуются два короткоживущих изотопа серебра (^{108}Ag и ^{110}Ag , периоды полураспада которых равны соответственно 2,4 минуты и 25 секунд) и один долгоживущий изотоп ($^{110\text{m}}\text{Ag}$ с периодом полураспада в 253 дня). Измерения активности короткоживущих изотопов

затруднялись тем, что во всех монетах присутствовала медь, а излучение изотопов ^{66}Cu и ^{64}Cu , периоды полураспада которых составляют 5 минут и 13 часов, создавало в спектрах слишком большой фон. Поэтому определения серебра велись по активности долгоживущего изомера и начинались через несколько дней после облучения, когда оба изотопа меди полностью распались.

Для проверки правильности методики определялись содержания серебра в шестипенсовых монетах чеканки 1872—1873 гг. (время правления королевы Виктории) и 1921—1925 гг. (период правления короля Георга V). В этих монетах концентрация серебра известна. Она составляет 92,5 % в викторианских и 50 % в монетах Георга V. Нейтронно-активационный анализ выявил $(92,2 \pm 1,8) \%$ содержания серебра для первых и $(50,6 \pm 0,4) \%$ для вторых монет. Таким образом, использованная методика была безусловно правильной и точной.

Количество серебра в древнеримских монетах варьировало в широких пределах — от 3 до 70 %. Но самым интересным было закономерное его снижение при переходе от более ранних к более поздним датам чеканки. Эта закономерность отчетливо видна на рис. 39.

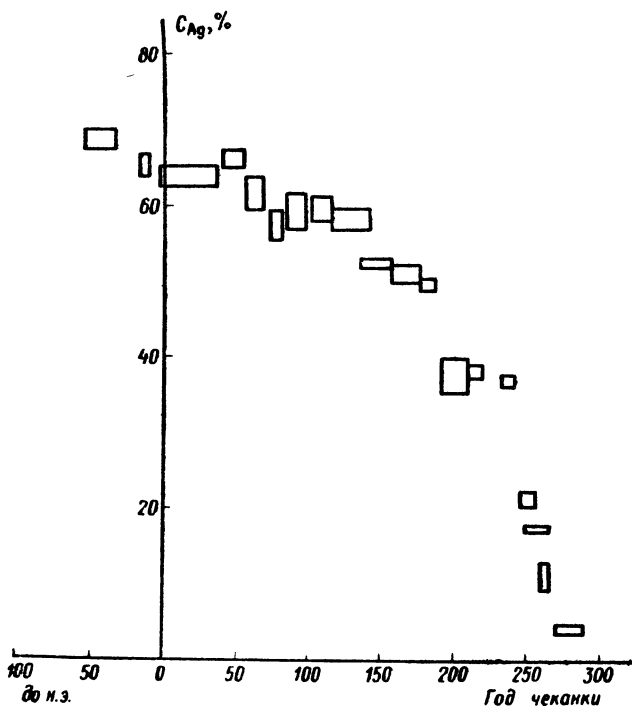


Рис. 39. Зависимость измеренного методом нейтронной активации среднего содержания серебра в древнеримских монетах от даты их чеканки [45].

Максимальное содержание серебра в монетах (70—60%) отмечается в период с 30 г. до н. э. по 54 г. н. э., в эпоху правления императоров от Августа до Клавдия. При Нероне (54—68 гг. н. э.) концентрация серебра снижается до 55%, а затем вновь немного повышается в монетах императоров Гальбы, Отона, Вителлия, Веспасиана, Тита. При Марке Аврелии, который был римским императором с 161 по 180 г., содержание серебра еще близко к 50%, но после него оно резко уменьшается. Наблюдаемая тенденция точно соответствует началу упадка Римской империи, росту экономических трудностей и расширению масштабов разорительных войн. Новое сокращение концентрации серебра характерно для времени после правления Каракаллы (211—218 гг.). Известно, что после 230 г. в истории Древнего Рима наступает период внутренних распри и военной анархии. Это была пора, когда легионы воевали друг с другом, чтобы выдвинуть императором своего ставленника; нередко престол доставался тому, кто мог за него больше заплатить. Однажды в течение восьми лет сменилось 12 императоров. И к 275 г. содержание серебра в монетах уменьшилось до 3%.

Таким образом, исследование древнеримских монет выявило колоссальную инфляцию, отражавшую важнейшие события в истории Древнего Рима.

В 1975 г. английский исследователь Р. Флит предложил определять содержание серебра в монетах довольно простым способом — через измерение их удельной теплоемкости. А спустя год он опубликовал данные по изучению древнеримских монет, полученные таким путем. Количество монет, проанализированных Флитом, было значительно меньшим по сравнению с обследованным Джиббонсом и Лоусоном, но установленные ранее закономерности, в общем, подтвердились.

Каждый металл обладает собственной удельной теплоемкостью. У золота она равна 126 Дж/кг·град, у серебра — 235, у меди — 390 Дж/кг·град. Удельная теплоемкость сплава прямо связана с удельной теплоемкостью металлов, входящих в его состав. Так, если медно-серебряный сплав имеет удельную теплоемкость 273 Дж/кг·град, легко подсчитать, что в нем должно быть 75% серебра и 25% меди.

Для измерения удельной теплоемкости монеты нужен калориметр — пластиковый сосуд с водой, снабженный термометром и мешалкой. Флит нагревал монету в струе пара, затем быстро переносил ее в калориметр, где предварительно была измерена температура воды. Горячая монета отдавала тепло, температура воды в калориметре повышалась. Примерно через полминуты устанавливалось тепловое равновесие, в этот момент температура снова измерялась. Зная начальные температуры воды и нагретой монеты, температуру установившегося равновесия, массу и удельные теплоемкости воды и калориметра, а

также массу монеты, можно составить уравнение теплового баланса, а из него рассчитать удельную теплоемкость сплава монеты. По измерениям удельной теплоемкости монет с известными содержаниями серебра и меди легко построить калибровочный график, который служит для определения соотношения между этими металлами по данным калориметрии.

В опытах Флита температура измерялась с точностью до сотой доли градуса, а в результаты измерений вносились необходимые поправки, например на зависимость температуры кипения воды от атмосферного давления. Это обеспечило высокую точность измерений удельной теплоемкости монет, относительная погрешность их составила $\pm 3\%$.

Флит исследовал монеты Древнего Рима, представлявшие различные периоды его истории. Список начинали монеты времен республики, I в. до н. э., и завершали монеты середины III в. н. э. Закономерное и все более ошутимое обеднение серебром в монетах поздней чеканки четко прослеживается по данным табл. 2. Самые высокие концентрации серебра харак-

Таблица 2

Содержание серебра (в %) в 41 древнеримской монете, относящейся к периодам республики и империи, по данным измерения их удельной теплоемкости [34]

Император	Ориентировочные годы чеканки	Количество монет	Содержание серебра
—	Республика		
	90—88 до н. э.	2	94—87
Марк Антоний Вителлий Веспасиан Домициан Нерва Адриан Антоний Пий Марк Аврелий Септимий Север Каракалла Элагабалус Север Александр Траян Дециус Валериан II	Империя		
	42—30 до н. э.	7	96—77
	69 н. э.	1	84
	69—79 н. э.	2	82—80
	81—96 н. э.	1	89
	96—98 н. э.	2	87—77
	117—138 н. э.	4	89—65
	138—161 н. э.	3	86—69
	161—180 н. э.	2	70—65
	193—211 н. э.	6	49—33
	198—217 н. э.	2	49—43
	218—222 н. э.	4	47—35
	222—235 н. э.	3	30—27
	249—251 н. э.	1	24
	253—255 н. э.	1	19

терны для республиканских монет, а ускорение темпа инфляции приурочено к середине II в. н. э. Как прежние, так и новые данные свидетельствуют о том, что к середине III в. н. э. содержание серебра в римских монетах снизилось до 20%.

Нужно сказать, что методика исследования монет, предложенная Флитом, будучи очень простой, не лишена недостатков.

Ее можно применять в строго ограниченных случаях. Дело в том, что измерения удельной теплоемкости позволяют судить о содержании серебра, только если монеты состоят из биметаллического сплава. Если же в сплаве не два, а три компонента или даже больше, методика оказывается непригодной. Строго говоря, сплавы, из которых изготавливались монеты в Древнем Риме, не являлись биметаллическими. В те времена еще не умели должным образом очищать выплавлявшиеся из руд металлы от посторонних примесей, поэтому кроме основных элементов — серебра и меди — в монетах, хотя и в существенно меньших количествах, присутствуют другие элементы. Сравнив результаты Флита по монетам определенного исторического периода с такими же данными Джиббонса и Лоусона, нетрудно заметить, что метод удельной теплоемкости дает, в целом, несколько большие значения, нежели метод нейтронно-активационного анализа. Эти расхождения и объясняются тем, что в подвергнутых анализу монетах присутствуют не только серебро и медь. Поскольку метод нейтронной активации может применяться для изучения элементного состава любых сплавов, его результаты следует рассматривать как более точные и надежные.

В 1972 г. на II Международной конференции по применению активационного анализа в криминалистике голландские исследователи Ван Дален и другие сообщили об обнаруженных ими случаях «античных» подделок древнеримских монет [75]. На этот раз было изучено еще большее количество серебряных монет — около двух тысяч — из королевской коллекции в Гааге. Все монеты относились к I в. до н. э., т. е. охватывали последнюю фазу Римской республики и начало империи. Масса и размеры монет этой эпохи одни и те же: масса — 0,8 г, диаметр — 11 мм, толщина — 2 мм.

Для облучения использовался пониженный поток нейтронов, его плотность составляла $2,5 \cdot 10^{10}$ на квадратный сантиметр в секунду, время облучения равнялось двум минутам. Эффект снижения (депрессии) нейтронного потока контролировался и учитывался для каждой монеты. Как и раньше, количество серебра выявлялось по его долгоживущему изомеру ^{110m}Ag . Кроме серебра в монетах определялись содержания меди и золота.

Результаты анализа позволили установить, что значительная доля коллекционных монет, считавшихся серебряными, на самом деле лишь с поверхности покрыта серебром (плакировка). На это указывают данные табл. 3, из которой видно, что примерно каждая пятнадцатая монета содержит менее 10% серебра, остальное приходится на медь. Голландская королевская коллекция монет — одна из старейших в мире, и ее образцы в подавляющем числе случаев на протяжении веков рассматривались как подлинные. Нейтронно-активационный анализ засвидетельствовал, что число подделок существенно больше выяв-

**Содержание серебра (в %) в 1776 древнеримских монетах
I в. до н. э. по данным нейтронно-активационного анализа [75]**

Группа монет	Число монет в группе	Относительная доля группы в коллекции	Содержание серебра
I	1479	83,3	≥ 90
II	108	6,1	80—90
III	20	1,1	50—80
IV	61	3,4	10—50
V	108	6,1	< 10

ленного прежде, причем многие из фальшивых монет изготовлены, по всей вероятности, еще в античные времена.

Интересное нумизматическое исследование выполнено П. Мейерсом, который использовал для облучения монет не реактор, а ускоритель заряженных частиц — синхроциклотрон Института ядерной физики в Амстердаме [65]. В этом ускорителе протоны разгоняются до энергии 30 МэВ и могут вызывать разнообразные ядерные реакции. Если в синхроциклотроне ускорять не протоны, а дейтоны, то можно, применяя бериллиевую мишень, на которой происходит реакция (d, n), получить пучок быстрых (с энергией более 30 МэВ) нейтронов.

Мейерсом изучена крупная коллекция музейных монет — золотых, серебряных и медных. Большую часть ее составляли древнеримские монеты. В золотых монетах определялись примесные концентрации серебра и меди, для этого монеты облучались пучком протонов. При взаимодействии ускоренных протонов с ядрами серебра происходит реакция $^{107}\text{Ag}(p, pn)^{106m}\text{Ag}$. Образовавшийся изомер серебра имеет период полураспада 8,3 дня, распад его сопровождается гамма-излучением с энергией 513 кэВ. По интенсивности этого излучения можно судить о количестве серебра. Бомбардировка протонами ядер меди вызывает несколько реакций: $^{63}\text{Cu}(p, pn)^{62}\text{Cu}$, $^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$ и $^{63}\text{Cu}(p, 2n)^{62}\text{Zn}$. Возникшие в них радионуклиды с периодами полураспада, равными соответственно 9,8; 38 и 9,3 минуты, испускают позитроны, которые после аннигиляции дают гамма-излучение с энергией 511 кэВ. По интенсивности этого излучения определяют содержание меди.

В табл. 4 приведены измеренные содержания серебра и меди в пятнадцати золотых монетах, относящихся к правлению двух римских императоров: Домициана (81—96 гг.) и Траяна (98—117 гг.). Данные, полученные активационным анализом, показывают, что три из пятнадцати монет являются фальшивыми. Действительно, в подлинных монетах Домициана содержание серебра варьирует довольно сильно (0,14—0,49%), но никогда не перекрывает 0,5%; количество меди в этих моне-

Таблица 4

Содержания серебра и меди (в %) в золотых древнеримских монетах эпохи императоров Домициана и Траяна по данным нейтронно-активационного анализа [65]

Образец	Император	Дата чеканки, год н. э.	Серебро	Медь	Примечание
1	Домициан	85	0,49	0,04	Подлинная
2	"	85	0,49	0,05	"
3	"	85—86	0,14	0,02	"
4	"	85—86	0,20	0,02	"
5	"	88—89	0,46	0,08	"
6	"	81—84	1,10	0,90	Подделка
7	Траян	103—111	3,70	1,60	"
8	"	103—111	0,47	0,06	Подлинная
9	"	103—111	0,25	0,02	"
10	"	103—111	0,17	0,01	"
11	"	103—111	0,34	0,01	"
12	"	114—117	1,00	0,03	"
13	"	114—117	0,36	0,02	"
14	"	114—117	0,39	0,07	"
15	"	115—117	1,80	1,30	Подделка

тах также меньше, но не превосходит 0,1%. Между тем в образце 6 концентрация обоих примесных элементов гораздо выше, что и свидетельствует о фальсификации.

При Траяне в золотые монеты, по-видимому, стали добавлять больше серебра: в образце 12 концентрация его разна 1%, однако о подлинности монеты говорит низкое содержание меди. В образцах 7 и 15 количество серебра и особенно меди значительно выше, чем в остальных монетах времени Траяна. Эти две монеты, следовательно, нужно считать поддельными.

В медных древнеримских монетах Мейерс определил целый ряд примесных элементов, используя пучок быстрых нейтронов. Ядерно-физические характеристики нуклидов, служивших для анализа, даны в табл. 5.

А вот в табл. 6 представлены результаты определения семи примесных элементов в медных монетах — сестерциях — эпохи императора Адриана (117—138 гг.). Содержания этих элементов весьма малы: концентрация цинка не превышает 0,2%, а мышьяка — 0,00002%. Нейтронно-активационный анализ позволил предположить, что одна монета (образец 6) — фальшивая. Если количества цинка, сурьмы и олова в ней не отличаются в среднем от концентраций этих элементов в других монетах, то по содержаниям свинца, никеля, мышьяка и железа наблюдаются четкие различия. Например, содержания свинца и никеля в 3—4 раза выше максимальных концентраций этих элементов в других монетах. Таким образом, как установил Мейерс, подделывались не только золотые и серебряные, но и медные монеты. Однако во всех случаях подделка «выдает» себя аномальными концентрациями примесных элементов.

Таблица 5

Ядерно-физические характеристики, используемые для анализа при облучении образцов быстрыми нейтронами [65]

Определяемый элемент	Ядерная реакция	Период полураспада	Измеряемая энергия гамма-излучения, кэВ
Цинк	$^{67}\text{Zn}(n, p) ^{67}\text{Cu}$	61 час	186
Олово	$^{68}\text{Zn}(n, 2n) ^{65}\text{Zn}$	245 дней	1115
	$^{118}\text{Sn}(n, 2n) ^{117m}\text{Sn}$	14 дней	159
	$^{117}\text{Sn}(n, n') ^{117m}\text{Sn}$	14 дней	159
Свинец	$^{204}\text{Pb}(n, 2n) ^{203}\text{Pb}$	52 часа	280
Мышьяк	$^{75}\text{As}(n, 2n) ^{74}\text{As}$	18 дней	596
Сурьма	$^{123}\text{Sb}(n, 2n) ^{122}\text{Sb}$	2,7 дня	564
Никель	$^{58}\text{Ni}(n, p) ^{58}\text{Co}$	71 день	810
Железо	$^{56}\text{Fe}(n, p) ^{56}\text{Mn}$	2,6 часа	850

Таблица 6

Содержание примесных элементов (в $\% \times 10^{-4}$) в древнеримских монетах эпохи императора Адриана по данным нейтронно-активационного анализа [65]

Образец	Цинк	Олово	Свинец	Никель	Мышьяк	Сурьма	Железо
1	15,8	1,50	0,86	0,07	0,06	0,13	0,17
2	12,7	0,49	1,50	0,09	0,07	0,19	0,38
3	12,0	< 0,01	0,22	0,07	0,07	0,17	0,27
4	11,8	0,01	0,19	0,09	0,05	0,17	0,20
5	10,0	0,46	1,30	0,10	0,07	0,22	0,38
6	11,3	1,60	4,40	0,39	0,18	0,21	0,95
7	14,9	0,18	0,35	0,10	0,06	0,14	0,32
8	10,2	0,02	< 0,10	0,11	0,05	0,13	0,16
9	13,3	0,01	0,11	0,11	0,05	0,16	0,25

Значительный интерес представляет также работа французских ученых, посвященная исследованию римских монет первой половины IV в. н. э. Как известно, в 285 г. Римская империя разделилась, Диоклетиан отдал ее западную часть Максимиану, оставив себе восточную. Через восемь лет, чтобы лучше защищать границы обширного государства, Диоклетиан ввел тетрархию. Римом стали править четыре человека, к двум императорам (августам) добавились два цезаря: Констанций Хлор и Галерий. Констанций получил Галлию, Испанию и Британию. Константину (сыну Констанция и его жены, христианки Елены), который был провозглашен императором в 306 г., пришлось вести кровавую борьбу со своими соперниками, в особенности с Лицинием, сменившим Галерия на посту правителя Восточной Римской империи (Диоклетиан отрекся от престола в 305 г.). В 325 г. Константин разбил Лициния и сосредоточил всю полноту власти в своих руках.

Французские физики применили для исследования монет

времен Константина нейтронно-активационный анализ. Источником нейтронов служил ^{252}Cf —изотоп трансуранового элемента калифорния, излучавший более 2 млрд. нейтронов в секунду. При спонтанном делении изотопа ^{252}Cf испускаются быстрые нейтроны, для их замедления использовался слой полиэтилена. Пневматическое устройство подавало монету на облучение, которое продолжалось пять минут, затем это же устройство направляло активированную монету к регистрирующему блоку. Последний включал германиево-литиевый полупроводниковый детектор и анализатор импульсов; на измерение активности одной монеты затрачивалось 10 минут. Определялись содержания серебра, меди, олова и золота. В общей сложности было исследовано свыше двухсот монет, относящихся к почти тридцатилетнему периоду правления Константина. Для большинства монет удалось установить не только время выпуска, но и место чеканки [25].

В 315 г. концентрация серебра в римских монетах едва достигала 4%, а в последующие годы она продолжала снижаться. В 320 г. император Константин установил новое серебряное содержание своих монет — 2%. Но в это же время его соперник Лициний произвел еще одну девальвацию, в результате в монетах, выпускавшихся на территории Восточной Римской империи, серебро фактически исчезло. Это четко фиксируется диаграммой, изображенной на рис. 40. На ней виден «провал» в содержании благородного металла в монетах восточной чеканки, которые приурочены к концу правления Лициния. С другой стороны, диаграмма показывает, что после 325 г., когда Лициний был побежден и лишен власти, содержание серебра в монетах обеих частей Римской империи выравнивалось. Между 330 и 335 гг. концентрация серебра в монетах Константина опять снизилась с 2 до 1%, однако в период с 335 по 337 г. (дата смерти Константина) наблюдается неболь-

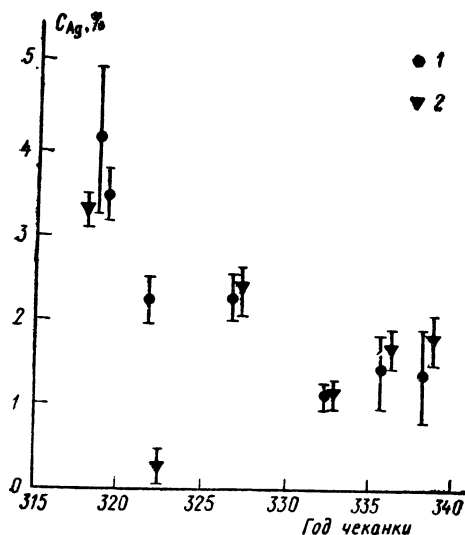


Рис. 40. Содержание серебра, измеренное нейтронно-активационным анализом, в монетах IV в., выпущенных при императоре Константине [25].

Монеты, отчеканенные: 1 — в Западной Римской империи; 2 — в Восточной Римской империи. Каждая точка представляет результат усреднения данных по нескольким образцам.

содержание серебра в монетах обеих частей Римской империи выравнивалось. Между 330 и 335 гг. концентрация серебра в монетах Константина опять снизилась с 2 до 1%, однако в период с 335 по 337 г. (дата смерти Константина) наблюдается неболь-

стигала 4%, а в последующие годы она продолжала снижаться. В 320 г. император Константин установил новое серебряное содержание своих монет — 2%. Но в это же время его соперник Лициний произвел еще одну девальвацию, в результате в монетах, выпускавшихся на территории Восточной Римской империи, серебро фактически исчезло. Это четко фиксируется диаграммой, изображенной на рис. 40. На ней виден «провал» в содержании благородного металла в монетах восточной чеканки, которые приурочены к концу правления Лициния. С другой стороны, диаграмма показывает, что после 325 г., когда Лициний был побежден и лишен власти,

шое увеличение сереброносности римских денег. В это время Рим уже потерял свое значение, в 330 г. Константин перенес столицу империи в Византию, которая стала называться Константинополем.

Есть ли олово в серебряных пенсах, отчеканенных в Англии при сыновьях Вильгельма I Завоевателя? Конец XI и начало XII в. — мрачный период в истории Англии. В 1087 г. скончался Вильгельм I Завоеватель, разделивший государство между двумя наследниками. Англией стал править Вильгельм II, называвшийся Красным, а Нормандским герцогством — второй сын Вильгельма I, Роберт.

В средневековых хрониках и народных легендах Вильгельм II Красный изображается подлинным извергом. Он руководствовался в отношениях с подчиненными только принципом насилия, даже с духовенством король всегда говорил с позиции силы. У своего брата Роберта Вильгельм II отобрал сначала часть Нормандии, а когда тот отправился в крестовый поход, захватил под видом заклада и все герцогство. Последнее обстоятельство вовлекло Вильгельма II в затяжную войну с Францией, разразившуюся в 1097 г. Расстроенные государственные дела и война требовали много денег, усилились эксплуатация населения и борьба с церковью. Английскому духовенству Вильгельм II причинил так много зла, что когда в 1100 г. король умер, ему было отказано в христианском погребении.

Вильгельм II погиб на охоте якобы в результате несчастного случая. Однако до сих пор английские историки не исключают причастности к смерти короля его брата Генриха. Будучи четвертым сыном Вильгельма I Завоевателя, Генрих ничего не получил после смерти отца, но постоянно стремился завладеть короной. В 1100 г. ему удалось захватить королевскую казну, после чего он был провозглашен королем. Это произошло в отсутствие Роберта, который все еще находился в крестовом походе. Когда Роберт вернулся, Генрих с помощью денег убедил его не оспаривать престол. Генрих I был королем Англии до 1135 г., он показал себя энергичным и деятельным правителем, но в то же время его отличала исключительная жестокость, граничившая с садизмом.

В 1124 г. произошло событие, которое достаточно точно характеризует правление Генриха I. Король находился тогда в Нормандии, где продолжал войну с французским королем Людовиком VI, развязанную покойным братом. Из Нормандии последовал приказ: собрать к рождеству в Лондоне чеканщиков монет со всей Англии. Королевское распоряжение должен был выполнить Роджер, епископ Солсберийский. Епископ повиновался, около ста чеканщиков были привезены в Винчестерское аббатство. И тут от Генриха I поступил новый приказ: ни следствия, ни суда не проводить, всем чеканщикам отру-

бить правую руку, а затем их кастрировать. Согласно историческим данным, жестокой экзекуции подверглись 94 человека.

Расправа с чеканщиками была вызвана гневом короля, до которого дошли многочисленные жалобы солдат на неполноценность серебряных пенсов, выплачиваемых им в качестве жалованья. Сохранившиеся в английских хрониках записи свидетельствуют, что во время войны с Францией монеты действительно стали обесцениваться. В пенсы добавлялось олово, причем иногда так много, что содержание основного металла — серебра — снижалось в три раза. Помимо неудач в войне имелись и другие причины обесценивания английского пенса. Пришло в упадок сельское хозяйство, было несколько неурожайных лет подряд, особенно плохим оказался 1124 г., конец которого ознаменовался кровавым событием в Винчестре.

Очевидно, что изучение элементного состава английских монет, относящихся ко времени правления Вильгельма II и Генриха I, представляет особый интерес. Коль скоро в исторических источниках есть прямые указания на то, что серебряные пенсы начала XI в. могут содержать значительную примесь олова, следовало провести анализ монет прежде всего на этот элемент, а также на элементы, часто выступающие природными спутниками олова, т. е. на свинец, цинк, медь.

В 1961 г. английские исследователи Дж. Форбс и Д. Далладэй проанализировали одну пенсовую монету времен Генриха I, отчеканенную в Лондоне. Содержание серебра в ней оказалось более 90%, монета явно была полноценной. Однако по виду чеканки нумизматы отнесли эту монету к самому концу правления Генриха I, к 1133 г. Следовательно, она была выпущена значительно позже 1124 г., который, возможно, пресек преступную деятельность отдельных чеканщиков. Кроме указанной монеты Форбс и Далладэй исследовали 30 пенсов, отчеканенных между 1050 и 1087 гг., еще при Вильгельме I Завоевателе. Содержание серебра во всех случаях было неизменно высоким, около 93%.

В 1971 г. в исследовательской лаборатории археологии и истории искусства Оксфордского университета была проанализирована коллекция английских пенсов, включавшая 20 монет, выпущенных между 1095 и 1125 гг. Даты чеканки показывают, что монеты относятся ко времени правления обоих королей — Вильгельма II и Генриха I. При этом пять монет были отчеканены в последние годы правления Вильгельма II (между 1095 и 1100 гг.), двенадцать — при Генрихе I, но до расправы с чеканщиками в 1124 г., а три монеты — тоже при Генрихе I, но после 1124 г. (эти монеты выступали в качестве контрольных). Таким образом, коллекция охватывала важнейший период английской истории, насыщенный крупными и драматическими событиями. Существенным было то обстоятельство, что 20 монет коллекции, предназначенных для исследо-

вания, были отеканены в разных местах Англии и представляли 12 монетных дворов, функционировавших на рубеже XI и XII вв.

Серебряные пенсы конца XI—начала XII в. исследовались неразрушающим аналитическим методом — электронным микрозондированием. Узкий пучок электронов направлялся на очищенную поверхность монеты, площадь «пятна», освещавшегося пучком, не превышала квадратного миллиметра. Для каждой монеты было выбрано несколько таких «пятен» на обеих поверхностях и на торце. Под действием бомбардировки электронами атомы металлов переходили в возбужденное состояние, а при снятии возбуждения испускалось рентгеновское характеристическое излучение элементов, присутствующих в сплаве. По интенсивности этого излучения, измерявшегося рентгеновским спектрометром, судили о содержании в монетах серебра, меди, свинца, цинка, олова, золота [67].

Результаты анализа не отвечали сделанным прогнозам. Учитывая исторические сведения, исследователи предполагали, что по крайней мере в некоторых монетах вместо высоких содержаний серебра будут обнаружены значительные примеси олова и других элементов. Но этого не случилось. Во всех без исключения монетах, проанализированных электронным микрозондированием, содержание серебра оказалось большим, от 90 до 95%. Концентрации меди варьировали от 3 до 6%, свинца — от 0,4 до 2,1%, цинка — от 0,2 до 2,4%. А олово вообще не было найдено ни в одной монете. Точнее, его концентрации были ниже порога чувствительности, составлявшего 1% (поскольку метод электронного микрозондирования не отличается тонкой чувствительностью, пороги определения элементов в нем довольно высокие). Зато во всех серебряных пенсах четко фиксировалось примесное золото, и его было не так уж мало, в среднем 0,5%. Интересно, что концентрация золота в исследованных монетах оказалась постоянной. Это свидетельствует, что в течение длительного времени английские плавильщики перерабатывали серебряную руду одним и тем же способом.

Итак, олово, которое ожидали встретить в монетах Генриха I, на самом деле там отсутствует. Д. Меткалф и Ф. Швейцер, проводившие исследование, предложили такое объяснение этого факта. Оксфордская коллекция серебряных пенсов, изучавшаяся с помощью электронного микрозонда, составлена из монет, найденных в различных кладах. В этой коллекции нет пенсов Генриха I, обнаруженных археологами. Очевидно, средневековые собиратели кладов позаботились о том, чтобы к ним не попали неполноценные монеты. С другой стороны, возможно, что обесцененные, с резко пониженным содержанием серебра пенсы выпускались в течение очень короткого периода, например непосредственно перед 1124 г. Из всех исследованных Меткалфом и Швейцером монет лишь одна близка по дате к

указанному году. Она отчеканена в 1122 г., но серебра в ней много, 94 %. Нужно также иметь в виду, что на Генриха I в общей сложности работало более 50 монетных дворов, находившихся в разных местах Англии, а в оксфордской коллекции представлено только 12 из них. Чтобы выявить примесное олово, нелегально вводившееся в английские монеты той эпохи, надо изучить новые объекты, а между тем серебряные пенсы начала XII в. — большая редкость в наши дни.

О чем рассказали арабские и турецкие средневековые монеты. В Мичиганском университете (США) неразрушающим нейтронно-активационным методом было изучено большое количество серебряных арабских и турецких средневековых монет. Даты чеканки монет, предоставленных Американским нумизматическим обществом и Оксфордским музеем, охватывали два с половиной столетия — с 1250 по 1500 г. Исследователям удалось установить определенную связь между содержанием серебра в монетах и важнейшими историческими событиями [46].

В монетах, отчеканенных в 1250 г., содержание серебра составляет в среднем 70 %. Снижение его до 57 % относится к периоду захвата Сирии татаро-монголами и падения Багдадского халифата в 1258 г. Правивший в то время султан, чтобы платить жалование своему войску, распорядился, очевидно, уменьшить количество серебра в монетах.

После 1300 г. содержание серебра снова довольно высоко — около 60 %. К 1320 г. оно возрастает до 67 %, в это время была завоевана Армения с ее богатыми месторождениями серебра. На рубеже между XIV и XV вв. отмечается резкое падение концентрации серебра в монетах, до 30 %, что связано с вторжением в Малую Азию войск Тамерлана. В 1402 г. Тамерлан победил султана Баязета и исламский мир был разделен на части.

Вскоре, однако, тимуриды — преемники Тамерлана — были изгнаны. Образовалась Османская Порта, которая особенно укрепилась при правнуче Баязета Магомете II. Правление последнего, относящееся к середине XV в., характеризуется повышенным содержанием серебра в монетах.

Динары «обстреливаются» из кобальтовой «пушки». На Международной конференции по активационному анализу, проходившей в Торонто (Канада) летом 1981 г., венгерские физики А. Вереш и И. Павличек рассказали о новой методике определения содержания благородных металлов в старинных монетах. Они реализовали возможности мощного изотопного источника гамма-излучения — так называемой кобальтовой пушки. Кобальтовые пушки часто применяют в промышленности и медицине. Гамма-лучами, возникающими при распаде долгоживущего изотопа ^{60}Co , проверяют качество сварных швов. С помощью этих лучей ищут дефекты в различных металлических деталях и отливках. Используя ионизирующее действие

гамма-лучей, врачи-радиологи ведут успешную борьбу со злокачественными опухолями.

В будапештском Институте изотопов Венгерской академии наук есть кобальтовая пушка с активностью 20 тыс. кюри. Каждую секунду в этом источнике распадается 740 триллионов ядер радиоактивного кобальта. Вереш и Павличек предложили использовать поток гамма-лучей, выходящий из пушки, для возбуждения изомерных (метастабильных) состояний ядер серебра и золота. Изомерные состояния образуются в результате взаимодействия гамма-излучения с ядрами, часть энергии гамма-лучей при этом идет на ядерное возбуждение. Иными словами, происходит неупругое рассеяние гамма-лучей на ядрах. Каждое изомерное состояние характеризуется строго определенной энергией и временем жизни, т. е. периодом полураспада. Когда ядро возвращается из изомерного состояния в обычное (основное), испускается вторичное гамма-излучение, энергия которого зависит от ядерных свойств данного химического элемента. Это и позволяет проводить элементный анализ различных веществ. Методика возбуждения изомеров с помощью неупругого рассеяния интенсивного гамма-излучения является составной частью ядерно-физического метода анализа, называемого гамма-активационным.

Гамма-активационное определение золота можно вести путем регистрации вторичного излучения с энергией $E_\gamma = 279$ кэВ, связанного с распадом изомерного состояния ^{197m}Au , которое образуется вследствие реакции неупругого рассеяния первичных гамма-лучей: $^{197}\text{Au}(\gamma, \gamma')^{197m}\text{Au}$. Период полураспада изомера ^{197m}Au составляет 7,7 секунды. В результате неупругого рассеяния гамма-излучения на ядрах серебра идут две реакции, на каждом из двух стабильных изотопов этого элемента: $^{107}\text{Ag}(\gamma, \gamma')^{107m}\text{Ag}$ и $^{109}\text{Ag}(\gamma, \gamma')^{109m}\text{Ag}$. Оба изомера — ^{107m}Ag и ^{109m}Ag — можно использовать для определения содержания серебра; первый имеет период полураспада 44 секунды и характеризуется энергией $E_\gamma = 93$ кэВ, у второго период полураспада 40 секунд и $E_\gamma = 88$ кэВ. Таким образом, для измерений концентрации благородных металлов — золота и серебра — нужно регистрировать спектрометром гамма-лучи с энергией 88, 93 и 279 кэВ. Чем богаче золотом и серебром анализируемый объект, тем больше он будет испускать вторичных гамма-лучей с указанными значениями энергии.

Энергия гамма-излучения, сопровождающего распад изотопа ^{60}Co и используемого для облучения анализируемого вещества, не превышает 1,5 МэВ. Действие на ядра излучения с такой энергией ограничивается образованием изомерных состояний, никаких ядерных расщеплений при этом не происходит. Следовательно, в облучаемом веществе не возникают радиоактивные изотопы, а возбуждаемые изомеры обладают не большими периодами полураспада. Уже через несколько минут

эти изомеры исчезают, вот почему объекты, проанализированные гамма-активационным методом с применением кобальтовой пушки, совершенно лишены какой бы то ни было остаточной радиоактивности.

Облучение монет и измерение гамма-активности возникших изомеров проводились следующим образом. Между кобальтовой пушкой и измерительной установкой действовала пневмопочта. Сжатый воздух автоматически направлял монету под поток гамма-лучей, а затем быстро перемещал ее к детектору вторичного излучения. Анализ осуществляли циклически, каждую монету исследовали от 10 до 20 раз. При определении золота цикл состоял из 30 секунд облучения, одной секунды, затрачиваемой на подачу облученной монеты к детектору, и 10 секунд измерения активности. При определении серебра длительность облучения в одном цикле равнялась двум минутам, а время измерения составляло 40 секунд. Таким образом, анализ одной монеты на золото занимал не более 15 минут, а на серебро — около часа. В качестве эталонных образцов использовались стандартные диски из сплава с известными концентрациями золота и серебра [76].

Для нумизматических экспериментов посредством гамма-активационного анализа Вереш и Павличек взяли монеты из коллекции Венгерского национального музея в Будапеште. В первых опытах исследовалось совсем немного монет, но среди них находились серебряные динары, относящиеся к важному периоду венгерской истории. Это были монеты второй половины XV и начала XVI в., выпущенные при королях Матьяше и Владиславе II.

Матьяш, сын легендарного венгерского полководца Яноша Хуняди, возглавившего борьбу балканских народов против турецких захватчиков, был выбран королем и правил Венгрией в течение 32 лет. При нем произошла централизация государственной власти и было создано постоянное войско, что способствовало защите страны от посягательств со стороны Османской империи, непрестанно угрожавшей независимости Венгрии. После смерти Матьяша в 1490 г. венгерским королем избрали Владислава II, который с 1471 г. уже был королем Чехии. Реакционно настроенным феодалам удалось использовать слабости короля Владислава и существенно ограничить его власть. Давление феодалов на Владислава II продолжалось до смерти короля в 1516 г.

Серебряные динары, отчеканенные при Матьяше, — небольшие монеты, массой около полуграмма. Исследование представленных в коллекции Венгерского национального музея динаров Матьяша, выполненное гамма-активационным методом, обнаружило, что содержание серебра в них достаточно велико, оно заключено в интервале между 84 и 88,5%. Правда, в одном динаре серебра оказалось немного, всего 51%, но эта мо-

нета была на особом счету в коллекции, давно уже имелись подозрения, что она фальшивая. Теперь подозрения подтвердились. В динарах Владислава II содержание серебра было также высоким, от 87 до 92%, т. е., в целом, даже больше, чем в динарах короля Матяша. Означает ли это, что монеты Владислава II полновеснее по сравнению с монетами его предшественника? Пока подобный вывод сделать нельзя, так как количество проанализированных монет мало. Нет, однако, сомнений в том, что предложенная венгерскими физиками методика в силу своей простоты и экспрессности может стать весьма полезной в дальнейших нумизматических исследованиях.

Как объяснить избыток серебра в польских монетах начала XVI в. В 1506 г. королем Польши, которая в ту пору была могущественным государством, стал Сигизмунд I Ягеллон. Для обороны границ, простиравшихся от Балтики до Черного моря, новому королю требовалась сильная армия. Сигизмунд понимал, что офицерам и солдатам следует платить «звонкой монетой» — серебром, а запасы серебра в польском казначействе были весьма ограниченными. Поэтому одним из первых указов короля в стране упорядочивалось монетное дело.

Весной 1507 г. Сигизмунд I отдал распоряжение краковскому монетному двору, которое регламентировало содержание серебра в монетах, получивших название коронных полугрошей, так как на одной стороне этих монет изображен орел, а на другой — корона. Распоряжение гласило, что полугроши должны чеканиться из сплава серебра и меди, причем последней надлежит доминировать. Старая денежная единица Польши — гривна — имела массу металла 197 г. Теперь предписывалось из одной гривны делать 192 монеты, чтобы масса каждой равнялась 1,03 г. Состав сплава гривны был принят таким: 15 долей серебра на 25 долей меди. Следовательно, один полугрош должен был содержать 386 мг серебра, что соответствует концентрации 37,5%.

Сигизмунд I правил долго, более сорока лет, и ежегодно при нем чеканились монеты, так что коронный полугрош стал основной денежной единицей Польши. Точно ли придворные чеканщики выдерживали норму серебра для коронных полугрошей, установленную королем в 1507 г.? Наблюдается ли корреляция между концентрацией серебра в монетах и датой их чеканки? Чтобы ответить на эти интересные для нумизматов и историков вопросы, сотрудники Института ядерной физики в Кракове исследовали коллекцию полугрошей, отчеканенных в первые годы правления Сигизмунда I.

Самое обширное собрание королевских полугрошей — 53 экземпляра — находится в Национальном музее в Кракове, в нем представлены монеты, выпущенные с 1507 по 1511 г. Изучение краковской коллекции заслуживало пристального внимания в связи со следующим обстоятельством. Незадолго до начала ра-

бот в краковском Институте ядерной физики пришло сообщение из Варшавы, где в лаборатории истории материальной культуры Польской академии наук был проведен химический анализ образцов десяти полугрошей Сигизмунда I. Результаты показывали, что содержание серебра в монетах выше, чем ему надлежало быть. В некоторых образцах массой примерно 10 мг металла, которые отделяли с ребра монеты напильником, концентрация серебра достигала 48%. В Кракове решили применить неразрушающий метод—рентгенофлуоресцентный анализ с изотопными источниками возбуждающего излучения.

Помимо возможно более точного определения содержания серебра ученые стремились также измерить концентрации примесных металлов в сплаве монет. Для этого они последовательно использовали четыре изотопных источника: ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{109}Cd и ^{55}Fe . Изотоп ^{241}Am испускает гамма-лучи с энергией 59,6 кэВ, они удобны для возбуждения *K*-серий рентгеновского излучения серебра и других тяжелых металлов: кадмия, олова, золота. Излучение изотопов ^{109}Cd и ^{238}Pu характеризуется меньшей энергией, с его помощью можно определять содержания меди, железа, цинка по их *K*-сериям, а также свинца, висмута, ртути по *L*-сериям. Распад изотопа ^{55}Fe сопровождается испусканием фотонов с малой энергией (всего 5,9 кэВ), они пригодны для возбуждения *L*-серии рентгеновского излучения серебра при исследовании поверхностных слоев объектов.

Возбужденное тем или иным источником рентгеновское характеристическое излучение вещества монеты регистрировалось полупроводниковым или газовым пропорциональным детектором. В качестве полупроводникового детектора использовался кремниеволитиевый счетчик, его энергетическое разрешение по линии 5,9 кэВ составляло 220 эВ. Пропорциональный счетчик обладал меньшей разрешающей способностью, зато с ним было проще обращаться, в частности не требовалось охлаждения до температуры жидкого азота. Высокая разрешающая способность кремниеволитиевого детектора позволяла вести многоэлементный анализ, в то время как пропорциональный газовый счетчик предназначался для контрольных определений главного элемента — серебра.

Известно, что монеты, изготавливавшиеся в старину из сплава с низким содержанием серебра, нередко подвергали операции «отбеливания». Монеты кипятили в растворе винного камня, который собирали со дна старых бочек из-под вина. В результате часть меди с поверхности растворялась и монета приобретала беловато-серебристый цвет, обусловленный обогащением серебром внешнего слоя. Посредством рентгенофлуоресцентного метода не представляет труда отличить «отбеленную» монету от обычной. Для этого достаточно измерить концентрацию серебра на ее поверхности дважды: один раз — по *K*-серии рентгеновского излучения (энергия *K*-серии равна

22 кэВ), а другой раз — по *L*-серии (энергия ее составляет 3,9 кэВ). Средние пути фотонов с энергиями 22 и 3,9 кэВ в веществе медно-серебряного сплава существенно различаются. При исследовании «отбеленной» монеты по *L*-серии будет анализироваться лишь поверхностный слой, так как фотоны малой энергии могут пройти путь всего в несколько микрометров. Исследование этой же монеты по *K*-серии покажет меньшее содержание серебра, поскольку фотоны с энергией 22 кэВ проходят в веществе сплава расстояние в 150 микрометров, а это значительно больше толщины слоя, в котором концентрация серебра искусственно повышена процессом «отбеливания». Очевидно, что измерение концентрации серебра в подобных монетах может проводиться только по *K*-серии.

Все 53 полугроша из коллекции Национального музея в Кракове несли на себе следы процедуры «отбеливания», поэтому роль поверхностного эффекта пришлось изучать во всех деталях. Чтобы оценить толщину слоя, в котором содержание серебра повышено по сравнению со средним слоем, пришлось пожертвовать одним полугрошем. Эту монету отшлифовали с одной стороны, удалив таким образом поверхностный слой. Затем определили концентрацию серебра путем облучения каждой из сторон монеты фотонами изотопа ^{241}Am . Данные анализа по *K*-серии были практически одинаковыми, отсюда следовало, что толщина поверхностного слоя с повышенным содержанием серебра не превосходит нескольких микрометров.

Данные по примесным элементам могли бы выявить место добычи серебряной руды, из которой был выплавлен металл для монет. Однако концентрации примесных элементов в коронных полугрошах оказались незначительными, чувствительности рентгенофлуоресцентного анализа не хватило для определения таких элементов, как свинец, висмут, олово, золото. Но содержание серебра удалось измерить с высокой точностью, абсолютная погрешность анализа равнялась $\pm 0,5\%$.

Результаты исследования показали, что концентрация серебра в полугрошах Сигизмунда I варьирует в довольно широких пределах, от 36 до 54%. Однако никакой корреляции этих величин с годом чеканки нет. Среднее содержание серебра в полугрошах начала XVI в. равно 43,6%. Напомним, что в соответствии с указом Сигизмунда I эта цифра должна быть существенно меньше, а именно 37,5%. Из пятидесяти с лишним анализировавшихся монет лишь в шести содержание серебра равно «декретной» величине или чуть меньше нее.

Таким образом, исследование с применением ядерно-физического метода подтвердило и уточнило факт, замеченный ранее, когда провели химический анализ образцов чеканенных полугрошей. Несомненно, что польские чеканщики выпускали монеты, более весомые по серебру по сравнению с нормой, установленной королевским распоряжением. Трудно предположить,

что это явилось следствием случайной ошибки, поскольку превышение над нормой повторялось систематически на протяжении нескольких лет. Пока никто не может объяснить обнаруженную закономерность. Не исключено, что ответ на поставленный вопрос нужно искать в исторических документах начала XVI в.

Сколько может стоить одноцентовая монета? Любопытный казус связан с американскими монетами достоинством в один цент. В ходе второй мировой войны в США ощущался дефицит меди, поэтому с 1943 г. государственное казначейство изменило состав одноцентовых монет: содержание меди в них было резко снижено за счет добавки никелевого сплава.

Через много лет в казначейство США обратился некий нумизмат, утверждавший, что у него есть несколько медных одноцентовых монет, датированных 1943 г. Был сделан нейтронно-активационный анализ этих монет, а также монет того же достоинства, но выпущенных до замены состава, в 1942 г. [47]. Все монеты оказались идентичными. В монетах 1943 г. в самом деле присутствовало столько меди, сколько ей там быть не полагалось. Вместе с тем странные монеты были безусловно подлинными.

Никто не мог объяснить, как попала «лишняя» медь в одноцентовики 1943 г. Возможно, кто-либо из служащих монетного двора в 1943 г. намеренно не уменьшил содержания меди при чеканке новых монет, чтобы создать таким образом уникальные экземпляры, которые высоко ценились бы любителями-нумизматами. Во всяком случае, сейчас известно, что таких монет всего пять и, согласно официальным данным нумизматического каталога, каждая из них стоит 50 тыс. долл.

Нейтроны уточняют обстоятельства смерти исторических личностей

В 1961 и 1962 гг. были опубликованы результаты экспериментов, которые часто упоминают, когда хотят подчеркнуть возможности современных методов в определении ультрамалых количеств химических элементов. Это были опыты по нейтронно-активационному анализу нескольких волос Наполеона с целью измерения в них содержания ядовитого элемента — мышьяка. Английские физики Форшафвад, Смит и Уоссен провели серию измерений в Харуэлле, ведущем атомном центре Великобритании, и пришли к сенсационному выводу: французский император умер в результате отравления мышьяком.

Исследование волос Наполеона неоднократно описывалось в научных журналах и популярных изданиях; подробности этого любопытного дела изложены, например, в книге «Нейтроны

и криминалистика», вышедшей в 1981 г. [2]. Ниже рассматриваются работы, посвященные выяснению обстоятельств смерти или тяжелого заболевания других исторических лиц. Эти работы не получили такой широкой известности, как эксперименты с волосами Наполеона, некоторые из них опубликованы совсем недавно. Примечательно, что все исследования основаны на одном и том же методе — нейтронно-активационном анализе. Очевидно, что это обусловлено надежностью данных, получаемых при нейтронно-активационном определении низких концентраций ряда химических элементов.

Была ли естественной смерть шведского короля Эрика XIV? С именем короля Эрика XIV связан бурный этап истории Швеции. Судьба этого короля была необыкновенной и трагической. Последние восемь лет Эрик XIV провел в заточении и умер по неизвестной причине. Подозревали, что он был отравлен своим братом Иоанном, ставшим после смерти Эрика королем Швеции. Такие подозрения имели основания. Об этом свидетельствуют отношения двух братьев, полные соперничества и борьбы за власть.

Эрик родился в 1533 г. Он был сыном короля Густава I Вазы и Екатерины Саксен-Лауэнбургской. Эрик рано лишился матери, а его мачеха, Маргарита Лейонгвуд, всеми средствами стремилась сделать престолонаследником своего сына Иоанна. Густав Ваза также склонялся в пользу второго сына. В этих условиях Эрик с детства стал подозрительным и завистливым.

Эрик получил прекрасное образование, он хорошо знал историю и математику, владел несколькими языками, интересовался логикой и риторикой, имел даже склонность к сочинительству — сохранились его дневники и письма. Незаурядность его натуры проявлялась и в том, что он мастерски выступал в рыцарских турнирах, пел и играл на разных инструментах, владел кистью. Вместе с тем это был высокомерный и жестокий человек с неуравновешенным характером. Приступы сильнейшего гнева сменялись у Эрика угрызениями совести и желанием скрыться от взоров подчиненных. Эрика преследовали неудачи в matrimониальных начинаниях. В 1558 г. он сделал предложение Елизавете Английской, но получил категорический отказ. Впоследствии он тщетно добивался руки Марии Стюарт, принцессы Христины Гессенской, принцессы Ренаты Лотарингской и в конце концов женился на дочери простого солдата.

Осенью 1560 г. умер Густав Ваза, и Эрик стал королем Швеции. Его братья — Иоанн, Магнус и Карл — возглавляли наследственные герцогства. На первых порах Эрику удалось значительно ослабить власть герцогов, добившись выработки и принятия в 1561 г. так называемой Арбогской конституции. Одновременно он вел успешную войну с Данией за господство над

Балтикой, и в 1561 г. войска Эрика XIV заняли Ревель (Таллин).

Между тем Иоанн, герцог Финляндский, всеми мерами желая укрепить свои позиции, женился на дочери польского короля Сигизмунда II Августа, ссудил ему крупную сумму денег, а под залог получил семь крепостей в Ливонии. Эти крепости лежали на пути продвижения Эрика к югу, и в поступке брата он усмотрел измену. По требованию Эрика XIV Иоанн был осужден риксдагом, но не признал своей вины и собрал силы для защиты. Завязалась междоусобная война, закончившаяся в пользу Эрика, войска которого штурмом овладели городом Або, где находился Иоанн.

В это время датский король Фредерик II, заключивший союз с Польшей, объявил войну Швеции. Датчанам претило утверждение шведов в Прибалтике, расширение их владений в Эстляндии, захват Ревеля и других городов. Началась так называемая Северная семилетняя война, закончившаяся при Иоанне III. В этой войне шведы одержали ряд блестящих побед на море, но действия их сухопутных войск были неудачными. Причиной неудач во многом послужило неровное руководство Эрика XIV, который, не доверяя окружающим, часто менял состав командования, отдавал противоречивые приказы. Поражения усиливали подозрительность Эрика, ему все чаще мерещились заговоры. Подверглись гонениям многие выдающиеся деятели Швеции, некоторые из них были казнены. Ростом недовольства Эриком XIV среди дворянства воспользовались его братья, объединившие свои усилия. В сентябре 1568 г., всеми оставленный, Эрик стал пленником Иоанна. Через несколько месяцев риксдаг объявил его низложенным и осудил на пожизненное заключение.

Иоанн, однако, опасался, как бы народ не поднялся на защиту короля, пользовавшегося популярностью. Поэтому он перевозил Эрика из одного замка в другой и, по свидетельству некоторых историков, замышлял план его убийства. Находясь в заточении, Эрик усердно занимался литературой и историей, много писал. 26 февраля 1577 г. в возрасте 44 лет он умер. Королем Швеции под именем Иоанна III стал его брат.

Через 381 год после смерти Эрика XIV, в 1958 г., его могила была вскрыта. Погребение произвели в сухом месте, это обеспечило хорошую сохранность останков короля. Сохранности способствовало и то, что труп Эрика XIV был частично набальзамирован: в гробу нашли остатки бальзамирующей пасты. В приличном состоянии оказались не только волосы и ногти, но и мягкие ткани внутренних органов. Сравнительно мало пострадало от времени погребальное одеяние короля, в частности камзол из черного бархата.

Проверку версии об отравлении Эрика XIV взяли на себя сотрудники Королевского института технологии в Стокгольме.

Было решено исследовать останки короля на содержания ртути и мышьяка — именно эти элементы составляли, как правило, основу средневековых ядов. К концу 50-х годов шведские радиохимики и физики разработали оригинальные методики нейтронно-активационного анализа, базирующиеся на использовании тяжеловодного атомного реактора. Эти методики и были применены в ходе расследования обстоятельств смерти короля Эрика XIV [27].

Для первых экспериментов отобрали 8 образцов. В них попытались определить содержание ртути, не прибегая к процедурам, которые могли бы нарушить целостность образцов. После облучения потоком нейтронов плотностью 10^{12} на квадратный сантиметр в секунду у активированных образцов измеряли интенсивность гамма-излучения с энергией 77 кэВ: распад радиоизотопа ^{197}Hg должен сопровождаться испусканием фотонов с этой энергией. Такое излучение обнаружили во всех образцах. Наблюдение за изменением его во времени подтвердило, что оно принадлежит изотопу ^{197}Hg , период полураспада которого составляет 64 часа.

Нейтронно-активационный анализ на мышьяк был более скрупулезным. Исследовали несколько десятков образцов. После облучения нейтронами проводили их радиохимическое разложение с выделением радиоизотопа ^{76}As . Количественные определения делали по пику гамма-линии с энергией 559 кэВ. Предел обнаружения мышьяка составил 10^{-8} — 10^{-9} г.

Концентрации мышьяка в останках Эрика XIV оказались сильно варьирующими от образца к образцу, но в целом высокими. В ребрах было найдено $2,6 \cdot 10^{-4}\%$ мышьяка, в реберных хрящах — в несколько раз больше ($7,3 \cdot 10^{-4}\%$), примерно столько же ($6,1 \cdot 10^{-4}\%$) — в мышцах гортани, а в ногтях — $(17\text{—}19) \cdot 10^{-4}\%$. Самые высокие концентрации (до $95 \cdot 10^{-4}\%$) были обнаружены в остатках легочных тканей.

Исследование волос выявило характерную закономерность: участки, близкие к корням, оказались обогащенными мышьяком по сравнению с концами волос, по длине волоса концентрация ядовитого элемента менялась в 3—4 раза.

Активационный анализ каждой новой серии образцов останков Эрика XIV представлял все новые свидетельства, что король был отравлен. Практически все образцы содержали много мышьяка. Вместе с тем контрольные образцы указывали, что роль привноса мышьяка из почвы была небольшой. Так, в образцах бальзамирующей пасты нашли всего $1,1 \cdot 10^{-4}\%$ мышьяка.

По данным, полученным шведскими исследователями, можно было заключить, что концентрация мышьяка во внутренних органах Эрика XIV была очень высокой, и поэтому с течением времени некоторое количество его перешло на одежду короля. Одна из контрольных серий экспериментов включала анализ

на мышьяк образцов бархата из камзола Эрика XIV, из погребальной одежды его отца, короля Густава I Вазы, и из подкладки шляпы его брата, короля Иоанна III. В двух последних образцах содержания мышьяка составляли соответственно $2,8 \cdot 10^{-4}\%$ и $5,7 \cdot 10^{-4}\%$, в то время как в первом образце было обнаружено $33,8 \cdot 10^{-4}\%$. Иначе говоря, концентрации ядовитого элемента в погребальных одеяниях Эрика XIV и его отца различаются в 12 раз. Содержания мышьяка в бархате одежд Густава I Вазы и Иоанна, по сути дела, оказались фоновыми. Это подтвердилось анализом образцов черного бархата, изготовленного в XVI и XVII вв.

На основании многочисленных фактов шведские исследователи пришли к выводу, что Эрик XIV не умер естественной смертью, а был отравлен. Вопрос о том, как умер шведский король, разрешился почти через 400 лет после его смерти.

Прядь волос короля Карла II. В 1660 г. в Англии была реставрирована монархия, на престол вступил Карл II, сын Карла I, казненного во время революции. Карл II считался покровителем науки, он издал хартию об основании Лондонского Королевского общества (английской Академии наук). Далеко не благополучные финансовые дела королевства побудили Карла II среди всех наук отдать предпочтение алхимии. Алхимики были уверены, что рано или поздно они получают золото из ртути. Король приглашал в Англию алхимиков из разных европейских стран. По распоряжению Карла II во дворце Уайтхолл оборудовали алхимическую лабораторию, в которой он проводил долгие часы, вместе с придворными учеными экспериментируя с разнообразными соединениями ртути.

Несмотря на недовольство, вызывавшееся в Англии политикой Карла II, который добивался союза с Францией и в связи с этим запретил преследовать католиков, его правление протекало сравнительно спокойно; он умер в 1685 г. в возрасте 55 лет.

В 1961 г. двое американских врачей опубликовали статью, в которой на основании сохранившихся документов проанализировали «историю болезни» Карла II и пришли к выводу, что причиной смерти короля было хроническое отравление ртутью. Известный специалист в области активационного метода, проф. Дж. Ленихэн, работающий в Глазго, получил из Соединенных Штатов копию этой статьи с предложением проверить вывод, сделанный американскими врачами. В то время уже были широко известны результаты нейтронно-активационного анализа волос Наполеона; аналогичное исследование можно было бы провести и с волосами Карла II, если бы удалось их раздобыть.

В 1966 г. проф. Ленихэн, выступая по телевидению, рассказывал о достижениях современной аналитической химии. При этом он упомянул о том, что если бы у него были образцы во-

лос Карла II, то с помощью активационного метода можно было бы пролить свет на обстоятельства смерти короля. Через несколько дней телезритель из Уэльса написал Ленихэну, что у него имеется прядь волос Карла II и что он готов пожертвовать часть ее для анализа.

Волосы были прикреплены к листку плотной бумаги с надписью: «This lock of Hair was cut from the head of King Charles the 2nd by the mother of Sir John Jennings and given to Mr. Steele of Bromley by Philip Jennings, Esquire, Nephew to the Admiral Sir John above said — 1705».* Из пряди взяли пробу массой в несколько миллиграммов.

Нейтронно-активационный анализ проводился в Глазго доктором Смитом, который раньше принимал участие в исследовании волос Наполеона. Концентрация ртути в волосах Карла II оказалась очень большой — 0,0055%, что в десять с лишним раз превышало нормальный уровень. В каком году были срезаны волосы, установить не удалось, но полученный результат свидетельствовал, что в организм Карла II действительно поступала в больших количествах ртуть. По-видимому, это было следствием увлечения короля алхимией [62].

К аналогичному выводу привело выполненное позже исследование волос великого физика Ньютона; здесь, по счастью, ртутное отравление не вызвало смертельного исхода.

Странная болезнь Ньютона. В 1692 г. Ньютон, только что отметивший пятидесятилетие, тяжело заболел. Болезнь, тянувшаяся более года, была серьезной и непонятной. Она подорвала физические силы ученого, нарушила его душевное равновесие. Биографы называют период 1692—1693 гг. «черным годом» в жизни Ньютона. Он потерял сон и аппетит, находился в состоянии глубокой депрессии, избегал контактов даже с близкими друзьями. Временами он испытывал нечто вроде мании преследования, а иногда его начинала подводить память. К этому периоду относятся довольно странные письма Ньютона, все исследователи отмечают их «иррациональный характер».

Ни сам ученый (после того как непонятная болезнь прошла, Ньютон прожил еще 33 года), ни те, кто занимался изучением его жизни и творчества, не смогли объяснить причины заболевания. Одно время считали, что Ньютон испытал нервный шок, получив известие о смерти матери. Точная дата ее смерти долго оставалась неизвестной, но в конце концов выяснилось, что она умерла в 1679 г., т. е. за тринадцать лет до болезни Ньютона. Предполагали, что Ньютон перенес нервное потрясение, когда во время пожара сгорели его рукописи, это действительно имело место, но задолго до 1692 г.

* «Этот локон был срезан с головы короля Карла II матерью сэра Джона Дженнинга и передан мистеру Стилу из Бромли Филиппом Дженнингсом, эсквайром, племянником вышеупомянутого сэра Джона, адмирала — 1705» (перевод автора).

Совсем недавно, в 1979 г., группа американских и английских исследователей выдвинула предположение о том, что болезнь Ньютона была не чем иным, как отравлением ртутью. Они еще раз внимательно изучили письма ученого 1692 и 1693 гг., особенно те места, где он описывает симптомы болезни. Кроме того, заново просмотрели собственноручные записи Ньютона в дневниках и тетрадях, в которых он фиксировал данные экспериментов. Нужно было уточнить, с какой целью и с какими реактивами работал Ньютон, ставя химические опыты.

Первый химический опыт был осуществлен Ньютоном, когда ему было 26 лет, в конце 1678 г. Затем на протяжении 18 лет Ньютон часто обращался к химии, а также и к... алхимии. Ртуть и ее минералы играли в опытах Ньютона ведущую роль. Из записей в рабочих тетрадях следовало, что нередко ученый работал с большими количествами ртутных соединений, подолгу нагревал их, чтобы получить летучие вещества. Разумеется, никаких вытяжных шкафов в то время не существовало, и вредные пары и газы наполняли лабораторию. Более того, судя по записям, Ньютон часто пробовал на вкус то, что у него получалось: в рабочих тетрадях 108 раз встречаются заметки типа «вкус — сладковатый», «безвкусно», «солонатово», «очень едкое». Большая серия алхимических экспериментов с непременным участием ртути, сурьмы и других токсичных элементов датирована в записях 1692 г. Как по письмам Ньютона, так и по дошедшим до нас воспоминаниям современников получалось, что симптомы болезни напоминают признаки ртутного отравления.

Чтобы проверить гипотезу об отравлении, решили исследовать волосы Ньютона. Найти их удалось сравнительно легко. Оказалось, что две пряди волос Ньютона хранятся у графа Портсмутского, а еще несколько — в библиотеке Тринити-колледжа в Кембридже. Владельцы согласились предоставить часть волосков для анализа. Имелись веские доводы, что волосы действительно принадлежали Исааку Ньютону. Особенно это касалось графских семейных реликвий — внучатая племянница Ньютона Екатерина вышла замуж за некоего Джона Уоллопа, ставшего первым графом Портсмутским. У Екатерины было много рукописей и личных вещей ученого, они передавались по наследству. С другой стороны, волосы из коллекции графа и из библиотеки в Кембридже отличало внешнее сходство, все они были серебристо-белыми и очень тонкими (известно, что у Исаака Ньютона появилась седина, когда ему было едва за тридцать).

Сотрудник английского ядерного центра в Олдермастоне Ч. Паундс провел нейтронно-активационный анализ полученных волос. Каждый из 15 волосков анализировался в отдельности. Использование интенсивного потока нейтронов ядерного

реактора для облучения и полупроводникового спектрометра для измерения образованной активности позволило определить концентрации целого ряда элементов. Сначала для определения натрия, хлора, марганца, брома, цинка и алюминия применялся неразрушающий вариант анализа: образцы облучались нейтронами в течение получаса, а затем непосредственно по гамма-спектрам активированных образцов измерялись концентрации перечисленных элементов. С помощью неразрушающего анализа удалось также измерить концентрации золота и ртути, но для них длительность облучения пришлось увеличить до пяти дней. Для определения концентраций мышьяка, сурьмы и серебра потребовалась радиохимическая обработка облученных образцов: после длительного (от 5 до 14 дней) облучения нейтронами образцы волос подвергались разложению, названные элементы отделялись от других, после чего выделенные активности измерялись [73].

Результаты анализа показали, что в волосах Ньютона концентрации металлов с высокой токсичностью значительно превышают нормальный уровень. Но наибольшее отклонение от нормы дала ртуть, в исследованных волосах ее средняя концентрация составляла 0,0075%, а максимальная доходила даже до 0,0200%. Нормальное же содержание ртути в волосах человека равно 0,0005%. Полученные данные подтвердили предположение о том, что в течение некоторого времени Ньютон перенес тяжелые последствия довольно сильного ртутного отравления.

Исследование обстоятельств смерти первого мэра Цюриха. В 1971 г. швейцарский радиохимик А. Виттенбах с сотрудниками изучил останки одного из видных политических деятелей Швейцарии XIV в. — Рудольфа Брюна [81]. Брюн был первым мэром Цюриха, он стал им в 1352 г., когда Цюрихский кантон вошел в состав Швейцарской конфедерации. В 1360 г. Брюн неожиданно умер. Некоторые историки допускали, что он был отравлен. Возможно, предполагали они, Брюну отомстили его политические противники, недовольные присоединением Цюриха к конфедерации. Подозрение об отравлении подкреплялось странным совпадением: одновременно с Брюном, в тот же самый день, умер его повар, вполне здоровый человек. Оба были похоронены в церкви Святого Петра в Цюрихе.

В 1896 г. могилу Брюна вскрыли. Под могильным камнем на глубине 1,8 м обнаружили остатки деревянного гроба, в котором находились два скелета. На одном из скелетов сохранились лоскутки одежды с золотым шитьем, это, несомненно, был скелет мэра. На его черепе оставались волосы. Второй скелет, по всей вероятности, принадлежал повару Брюна. Волосы с черепа Брюна сняли и перенесли в музей. Кости переложили в новый гроб и захоронили в том же месте.

В 1970 г. могилу опять вскрыли. Гроб сохранился плохо, при

осмотре его обнаружили лишние кости, не принадлежавшие ни Брюну, ни повару; по-видимому, они относились к более ранним захоронениям и попали в гроб при первом вскрытии могилы. Проф. Гартман из Цюрихского университета провел антропологическую идентификацию скелетов, остальные кости удалили.

Для того чтобы получить однозначный ответ на вопрос: «Скончался ли Брюн в результате действия яда?», — было решено исследовать образцы волос и костей на содержание мышьяка — наиболее вероятного отравляющего средства, сплошь и рядом использовавшегося в XIV в.

Виттенбах взял для анализа 30 волос Брюна. Длина волос составляла 90 мм. В рассматриваемом деле можно было подозревать не хроническое, а острое отравление. В этом случае мышьяк концентрируется преимущественно у основания волос, в первых 5 мм от корней. За несколько лет до исследования обстоятельств смерти Брюна Виттенбах использовал нейтронно-активационный метод для измерения содержаний мышьяка в волосах человека, ставшего жертвой острого отравления. Тогда принятое внутрь количество окиси мышьяка равнялось 8 г. Уже через 12 часов концентрация мышьяка в волосах была во много раз выше нормальной, причем первые 5 мм содержали $40 \cdot 10^{-4}\%$, а остальная часть — лишь $2 \cdot 10^{-4}\%$.

Очевидно, что было важно получить сведения не только об абсолютном содержании, но и о распределении мышьяка по длине волос. От каждого волоса отрезалось по 5 мм из центра и с обоих концов. Образцы промывались ацетоном и водой и вместе с эталонными образцами мышьяка отправлялись для облучения нейтронами в реакторе. После облучения производилось радиохимическое выделение изотопа ^{76}As . Активность измерялась как по бета-, так и по гамма-излучению. Полученные кривые распада и спектры гамма-излучения подтвердили, что выделенный радиохимическим способом изотоп действительно является изотопом ^{76}As .

Количественные измерения показали, что концентрация мышьяка очень мала. Волосы Брюна содержали не более $0,3 \cdot 10^{-4}\%$ этого элемента, а при смертельных исходах в волосах находится свыше $10 \cdot 10^{-4}\%$. Кроме того, по длине волос Брюна мышьяк распределялся равномерно. Подозрение об отравлении снималось.

Однако изучение костей привело к другим результатам. Анализу подвергались кости обоих скелетов — Брюна и его повара. Методика определения мышьяка была точно такой же, как и при исследовании волос, только масса образцов теперь составляла 200 мг. В костях обоих скелетов концентрация мышьяка оказалась высокой — около $2 \cdot 10^{-4}\%$. На Международной конференции по применению нейтронно-активационного анализа в криминалистике, состоявшейся в Сан-Диего

1967 г., Г. Смит привел данные о содержании мышьяка в костях здоровых людей: оно заключено в интервале от $0,01 \cdot 10^{-4}$ до $0,24 \cdot 10^{-4} \%$ (среднее значение $0,08 \cdot 10^{-4} \%$). Виттенбах измерил содержания мышьяка в костях людей, умерших примерно 100 лет назад, причем он брал лишь те кости, которые не имели контакта с почвой. Концентрация мышьяка в этих случаях оказалась близкой к величине, полученной Смитом, — $0,13 \cdot 10^{-4} \%$. Кости скелетов Брюна и повара содержали мышьяка в 20 раз больше.

Таким образом, результаты анализа волос и костей Брюна противоречили друг другу. Встал вопрос о влиянии почвы на содержание мышьяка в костях. Виттенбах решил исследовать образцы почвы из могилы Брюна, а также образцы костей, находившихся в этой же могиле, но не принадлежащих ни Брюну, ни повару.

Все образцы почвы содержали много мышьяка, в среднем $(5 \pm 1) \cdot 10^{-4} \%$. А в образцах костей неизвестных лиц обнаружилось $2 \cdot 10^{-4} \%$ мышьяка, т. е. столько же, сколько было в костях Брюна и повара. Напрашивался один вывод: мышьяк способен выщелачиваться грунтовыми водами, мигрировать в почве и накапливаться в костях скелетов. Стало ясно, что концентрация мышьяка в скелетах Брюна и его повара увеличилась уже после захоронения. И в итоге подозрения об отравлении первого мэра Цюриха мышьяком окончательно отпали.

Нейтронно-активационный анализ в расследовании убийства президента Кеннеди. 22 ноября 1963 г. в Далласе, столице штата Техас, было совершено убийство президента Кеннеди. Это случилось в 12.30, а через час с небольшим полиция арестовала Ли Освальда, которому было предъявлено обвинение в убийстве. На допросах Освальд утверждал, что он ни в чем не виновен. Через два дня Освальда убил Джек Руби. Вскоре сидевший в тюрьме Руби умер, как было объявлено, от рака. Впоследствии при загадочных обстоятельствах из жизни ушли многие лица, показания которых могли бы внести ясность в это «убийство века».

Для расследования убийства Кеннеди была создана специальная комиссия под руководством судьи Эрла Уоррена. Доклад комиссии был опубликован 28 сентября 1964 г. В нем доказывалось, что президента убил действовавший в одиночку Освальд — «человек с неуравновешенной психикой».

Согласно заключению комиссии Уоррена, в президента было сделано три выстрела из окна шестого этажа склада школьных учебников. Особо подчеркивалось, что все выстрелы были произведены в президента сзади. Первая пуля, если судить по выводам комиссии, нарушила элементарные законы баллистики. Она попала в спину Кеннеди и вышла из горла, затем поразила в спину губернатора Коннэлли, вылетела из его груди, прошла через запястье его правой руки и еще раз ранила Кон-

изли в бедро. Подобная интерпретация вызывала вполне обоснованные сомнения. Для проверки ее эксперты стреляли сходными пулями в запястье тупа-модели, и они неизменно оказывались сильно деформированными. А упомянутая пуля оставила семь отверстий и нисколько не деформировалась. Очевидной была цель версии о трех выстрелах: убийца-одиночка не мог сделать более трех выстрелов за те шесть секунд, в течение которых произошла трагедия в Далласе.

Выводы комиссии Уоррена не удовлетворили общественного мнения Америки. Многие журналисты и исследователи резко критиковали деятельность комиссии и указывали на необходимость проведения нового расследования. Была создана специальная комиссия палаты представителей конгресса США, которая завершила работу в конце 1978 г. Главным выводом этой комиссии было следующее: убийство президента Кеннеди явилось результатом заговора определенных политических кругов, которые прибегли к содействию гангстерских синдикатов. Но свой вывод комиссия обнародовала еще до того, как в декабре 1978 г. появились сенсационные данные акустической экспертизы. Она состояла в исследовании случайно сохранившейся магнитофонной записи звуков, произведенной в момент убийства Кеннеди, и показала, что было сделано не три, а четыре выстрела. Специалисты заявили о полной уверенности в том, что стрелявших было двое. Факт четырех выстрелов сейчас считается доказанным [12]. Существует также версия о пяти выстрелах по президенту. Ее обосновывает, в частности, японский журналист Нобухико Очаи, который подвел итоги многолетних исследований обстоятельств убийства Кеннеди [15].

В расследовании убийства президента Кеннеди неоднократно использовался нейтронно-активационный анализ. Первый раз этот метод был применен вскоре после убийства с целью определения следов пороха. По официальной версии орудием убийства служила винтовка фирмы «Манлихер — Каркано» калибра 6,5 мм. Эта винтовка была найдена на шестом этаже книжного склада.

Если выстрелы производятся из винтовки, то остатки сгоревшего пороха, содержащие микропримеси бария и сурьмы, должны присутствовать не только на руках, но и на лице стреляющего, поскольку при выстреле казенная часть винтовки приближена к щеке. Сотрудники лос-анджелесской полиции провели контрольные выстрелы из точно такой же винтовки, а группа исследователей из центра «Галф дженерал атомик» под руководством В. Гинна проанализировала нейтронно-активационным методом парафиновые слепки, снятые с рук и щек стрелявших. Образцы восьми парафиновых слепков облучили нейтронами в атомном реакторе, после чего измерили гамма-излучение активированных образцов.

Во всех образцах были обнаружены следы как бария, так

и сурьмы. Было также установлено, что обычными химическими методами можно определить лишь следы бария, для сурьмы чувствительности этих методов недостаточно. На основании полученных результатов Гинн предложил Федеральному бюро расследований сделать нейтронно-активационный анализ парафиновых слепков Освальда, которые хранились в Далласе и ранее уже исследовались далласской полицией, но только химическими методами. Нейтронно-активационный анализ позволил обнаружить в этих слепках присутствие и бария, и сурьмы. Но названные элементы находились как на внутренней, так и на внешней поверхности слепков. Это было совсем необычным — остатки пороха не могут быть на внешней стороне парафинового слепка. Очевидно, внешняя поверхность была загрязнена или из-за неаккуратного обращения при хранении, или преднамеренно, чтобы запутать следы.

Нейтронно-активационному исследованию подвергались также пули и их отдельные фрагменты, найденные на месте убийства. Первый анализ пуль с помощью нейтронов был сделан еще в 1964 г. в одной из лабораторий ФБР, но данные о содержании в свинце пуль примесных элементов оказались малоубедительными. Сведения о распределении примесных элементов могли ответить на вопрос о количестве пуль и, по всей вероятности, о пути каждой пули. Поэтому значительно позже, уже в 70-х годах, американские специалисты вернулись к исследованию пуль, применив более совершенные варианты нейтронно-активационного анализа [49].

Сначала изучили микроэлементный состав пуль калибра 6,5 мм, выпускаемых компанией «Вестерн кэтриндж» для винтовок фирмы «Манлихер — Каркано». Эти пули оказались необычными. В отличие от подавляющего большинства пуль других марок, обладающих однородностью состава свинца в пределах определенной партии, в пулях указанного типа часто наблюдались значительные вариации в содержаниях примесей. Контрольные опыты проводили с группами по 10—12 пуль, взятых из разных патронных коробок, а коробки выбирались из разных партий. С пуль удалялись медные оболочки, затем от каждой отрезалось 5—10 образцов массой около 50 мг. Нейтронно-активационный анализ был инструментальным: после облучения нейтронами по гамма-спектрам, измеренным полупроводниковым детектором, определяли содержания сурьмы и серебра. Сурьма устанавливалась по гамма-линии с энергией 564 кэВ изотопа ^{122}Sb , а серебро — по гамма-линии с энергией 658 кэВ изотопа ^{110}Ag . Точность определений была достаточно высокой: погрешность единичного измерения содержания сурьмы равнялась $\pm 1\%$, а серебра $\pm 5\%$. Вариации содержаний сурьмы и серебра, полученные по результатам исследования фрагментов пуль, составляли $\pm 6\%$.

В то время как каждая пуля характеризовалась стабиль-

ными концентрациями сурьмы и серебра, содержания этих элементов при переходе от одной пули к другой, даже в пределах одной и той же коробки, сильно менялись. Так, при сравнении десяти пуль из одной патронной коробки было обнаружено пять групп с существенно различными количествами примесных элементов. В четырех группах содержания сурьмы заключались в интервале 0,1047—0,1110%, а содержания серебра — в интервале от $5,71 \cdot 10^{-4}$ до $5,85 \cdot 10^{-4}\%$, в пятой группе содержание сурьмы равнялось в среднем 0,0015%, а серебра — $1,3 \cdot 10^{-4}\%$.

Выявленные различия отдельных пуль, используемых для винтовок фирмы «Манлихер — Каркано», позволяли надеяться на получение новой информации при исследовании далласских пуль. В сентябре 1977 г. специальный уполномоченный Национального архива США, где хранились далласские пули, доставил их в Калифорнийский университет и передал Гинну. Разумеется, должен был использоваться неразрушающий метод анализа, чтобы не повредить образцы. Как и прежде, Гинн и его сотрудники применили инструментальный вариант нейтронно-активационного анализа.

Образцы исследовались дважды. В первый раз они помещались в нейтронный поток плотностью $2,5 \cdot 10^{12}$ на квадратный сантиметр в секунду на 40 секунд, и после 40-секундной выдержки также в течение 40 секунд измерялись спектры их гамма-излучения. Во второй раз длительность облучения была больше — 1 час, а плотность потока нейтронов составляла 10^{12} на квадратный сантиметр в секунду; после часовой паузы спектры гамма-излучения измерялись 5 минут. Во всех образцах (пуль и фрагментов) были определены содержания сурьмы и серебра.

Полученные результаты с большой степенью вероятности указывали на то, что все далласские образцы принадлежали пулям «Вестерн кэтриндж» для винтовки фирмы «Манлихер — Каркано». Одна пуля содержала 0,0815% сурьмы и $9,3 \cdot 10^{-4}\%$ серебра; это была пуля, найденная на носилках губернатора Коннэлли, и к ней относился, по-видимому, фрагмент из правого запястья губернатора. В другой пуле было 0,0622% сурьмы и $8,07 \cdot 10^{-4}\%$ серебра, к ней относились крупный фрагмент, обнаруженный в автомобиле, два фрагмента, извлеченных из мозга Кеннеди, а также несколько малых осколков, найденных в автомобиле. Эти данные подтверждали первоначальное заключение, сделанное еще в докладе комиссии Уоррена, о том, что почти неповрежденная пуля, обнаруженная на носилках Коннэлли, была той же самой пулей, которая повредила его запястье. Но, с другой стороны, полученные результаты противоречили мнению комиссии о том, что эта пуля сперва поразила Кеннеди, а потом ранила Коннэлли. Можно было считать, что в президента и губернатора попали разные пули.

В докладе правительственному комитету 8 сентября 1978 г.

в Вашингтоне Гинн сообщил свои данные по анализу далласских улик. Результаты исследования, подчеркнул он, с высокой степенью достоверности указывают на то, что все образцы соответствуют частям двух пуль, причем пуля компании «Вестерн кэтрिдж» для винтовки фирмы «Манлихер — Каркано». Среди проанализированных образцов, несомненно, не было никаких других фрагментов, относящихся к иному типу пули. Однако имеется, хотя и небольшая, вероятность того, что образцы представляют собой фрагменты не двух, а трех пуль, тогда третья пуля должна быть совершенно неотличимой по элементному составу от одной из двух других пуль.

В июне 1981 г., выступая на Международной конференции по активационному анализу в Торонто, проф. Гинн привел результаты изучения микроэлементного состава еще одного объекта, фигурировавшего в качестве вещественного доказательства при расследовании убийства Кеннеди. Это была пуля из патрона, который извлекли из магазинной коробки винтовки «Манлихер — Каркано», найденной на шестом этаже склада школьных учебников в Далласе в день убийства. Нейтронно-активационный анализ показал, что концентрации сурьмы и серебра в свинце этой «невыстреленной» пули равны $0,0015$ и $22,4 \cdot 10^{-4} \%$, т. е. по характеристикам примесей в свинце эта пуля совсем не похожа на те, которые попали в президента и губернатора. Последнее обстоятельство еще раз подтвердило сделанный ранее вывод о том, что в пулях фирмы «Манлихер — Каркано», даже если взять патроны из одной и той же коробки, можно встретить существенные различия по составу микропримесей в свинце. Пули других фирм характеризуются, как правило, высокой однородностью свинца, по крайней мере в пределах небольших партий патронов [48].

Итак, нейтронно-активационное исследование даласских улик не дало однозначного ответа на вопрос о количестве пуль и тем самым не подтвердило версию о четырех выстрелах, прозвучавших 22 ноября 1963 г. С учетом особенностей пуль фирмы «Манлихер — Каркано», выявленных активационным анализом, можно говорить уверенно лишь о двух пулях, попавших в цель. Судьба пули, связанной с третьим выстрелом, неизвестна. То же относится и к четвертому выстрелу, если он был.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Все, что вы прочитали в этой книге, — собрание отдельных рассказов, посвященных общей работе физиков и историков, их совместным исследованиям. Разумеется, далеко не все области таких исследований здесь удалось отразить. Но сколько

ни брать конкретных проблем, легко подметить одну закономерность: в их решении неизменно участвуют молодые исследователи. Достижения на стыке истории и физики зачастую обязаны энтузиазму молодых ученых.

В сфере взаимодействия гуманитарных и естественных наук многое начато, но гораздо больше предстоит сделать. Объекты исследования, как убедился читатель, могут быть чрезвычайно разнообразными, иногда совсем неожиданными. Приведем еще один пример, о нем сообщалось в газете «Правда» за 10 июня 1983 г., когда эта книга уже готовилась к изданию. Художественный музей в Харькове получил в дар от частных владельцев несколько картин. Среди них находится портрет, который, возможно, принадлежит кисти самого Рембрандта. Молодые харьковские физики взялись за изучение красок на полотне. Предварительные опыты дали обнадеживающие результаты: концентрация цинка в белилах оказалась ничтожно малой, а измерения излучения белил не выявили чрезмерно больших количеств радиоактивного свинца. Решающий вывод пока не сделан, однако вполне вероятно, что подлинность неизвестного творения великого художника будет подтверждена. И таких проблем множество.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бак П., Дидье Г., Шэви Д. И. Известные уголовные дела: Из истории криминалистики / Пер. с франц. М., 1979. 89 с.
2. Ваганов П. А., Лукницкий В. А. Нейтроны и криминалистика. Л., 1981. 192 с.
3. Вахрушин С. И., Кулешов Ю. Г., Станюкович А. К. Применение металлоискателей в археологии. — В кн.: Новое в применении физико-математических методов в археологии. М., 1979, с. 58—63.
4. Величко А. А. и др. Палеогеография стоянки Азых — древнейшего поселения первобытного человека на территории СССР. — Изв. АН СССР. Серия географ., 1980, № 3, с. 25—30.
5. Дитфурт Х. Как физики заставили заговорить Афины Палладу и что она рассказала историкам? — За рубежом, 1981, № 1, с. 19—20.
6. Дудкин В. П. Геофизическая разведка крупных трипольских поселений. — В кн.: Использование методов естественных наук в археологии. Киев, 1978, с. 35—45.
7. Дюран Б., Одед П. Кластерный анализ / Пер. с англ. М., 1977. 128 с.
8. Иванова И. К. Геологический возраст ископаемого человека. М., 1965. 192 с.
9. Кинд Н. В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М., 1974. 255 с.
10. Коган М. А. Разоблаченный подлог: Эпилог спора о подлинности йельской карты. — Изв. Всесоюз. географ. о-ва, 1976, т. 108, № 4, с. 324—328.
11. Массон В. М. Поселение Джейтун. Л., 1971, с. 109, 160.
12. Огелси К., Голдберг Д. Четвертый выстрел — прямое свидетельство заговора против президента Кеннеди. — За рубежом, 1979, № 23, с. 18—19.
13. Окладников А. П., Поспелова Г. А., Гнибиденко З. Н. Палеомагнитное изучение поселения Улалинка (по данным исследования 1979 г.). — Изв. Сибирск. отд. АН СССР. Серия обществ. наук, 1981, № 11, вып. 3, с. 55—60.
14. Окладников А. П., Рагозин Л. А. О возрасте Улалинки — древнейшего палеолитического поселения Сибири. — Изв. Сибирск. отд. АН СССР. Серия обществ. наук, 1978, № 6, вып. 2, с. 118—122.
15. Очиаи Н. Убийство президента Кеннеди. — За рубежом, 1978, № 1, с. 16—18; № 2, с. 16—18; № 3, с. 17—18.
16. Плхак М. Морфологические особенности ископаемых гоминид из Лагуна Бич и Лос-Анджелеса (США). — Геология, 1979, № 6, 6Г107.
17. Пэк Л., Яни С. Запад: преступность и искусство. — Социалистическая законность, 1979, № 2, с. 61—62.
18. Соботович Э. В. и др. Об абсолютном возрасте трипольской культуры эпохи меди. — В кн.: Изотопные и геохимические методы в биологии, геологии и археологии. Тарту, 1981, с. 133—136.
19. Топпинг О. Подземная свита властителя «Поднебесной». — За рубежом, 1982, № 20, с. 19.
20. Флейшер Р. Л., Прайс П. Б., Уокер Р. М. Треки заряженных частиц в твердых телах. Ч. 2. Науки о Земле и космические исследования / Пер. с англ. М., 1981. 264 с.
21. Эйткин М. Дж. Физика и археология / Пер. с англ. М., 1963. 258 с.
22. Янушевич З. В. Палеоботанические исследования в древнейших земледельческих центрах. — Природа, 1981, № 6, с. 65—73.
23. Aitken M. J., Moorey P. R. S., Ucko P. J. The authenticity of vessels and figurines in the Hacilar style. — Archaeometry, 1971, vol. 13, N2, p. 89—141.
24. Aronson J. L. e. a. New geochronological and palaeomagnetic data for the hominid-bearing Hadar formation in Ethiopia. — Nature, 1977, vol. 267, p. 323—327.
25. Barrandon J. N., Callu J. P., Brenot C. The analysis of Constantinian coins (a. d. 313—340) by non-destructive californium-252 activation analysis. — Archaeometry, 1977, vol. 19, N2, p. 173—186.

26. *Bischoff J. L., Rosenbauer R. L.* Uranium series dating of human skeletal remains from the Del Mar and Sunnyvale sites, California. — *Sci.*, 1981, vol. 213, p. 1003—1005.
27. *Christell R., Sjostrand B.* A simplified method for the determination of arsenic by means of activation analysis. — *Acta Chem. Scandinav.*, 1962, vol. 16, p. 2123—2130.
28. *Cotter M. J. e. a.* Authentication of paintings by Ralph A. Blakelock through neutron activation radiography. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1973, vol. 15, p. 265—285.
29. *Craig H., Craig V.* Greek marbles: determination of provenance by isotopic analysis. — *Sci.*, 1972, vol. 176, p. 401—403.
30. *Curtis G. H., Evernden J. F.* Discussion of the age of basalt underlying bed I, Olduvai. — *Nature*, 1962, vol. 194, N 4828.
31. *Douglas J. H.* Ancestors: shaking up the family tree. — *Sci. News*, 1979, vol. 115, p. 362—365.
32. *Drake R. E. e. a.* KBS tuff dating and geochronology of tuffaceous sediments in the Koobi Fora and Shungura formations, East Africa. — *Nature*, 1980, vol. 283, p. 368—372.
33. *Fitch F. J., Miller J. A.* Radioisotope age determinations of lake Rudolf artefact site. — *Nature*, 1970, vol. 226, p. 226—228.
34. *Fleet R. J.* The application of specific heat in the detection of debasement in ancient silver-copper alloy coins. — *Archaeometry*, 1976, vol. 18, p. 117—120.
35. *Fleet R. J.* The use of specific heat in the non-destructive analysis of silver-copper alloy coins. — *Archaeometry*, 1975, vol. 17, p. 101—106.
36. *Fleischer R. L., Price P. B., Walker R. W.* Fission-track dating of bed I, Olduvai gorge. — *Sci.*, 1965, vol. 148, p. 72—74.
37. *Fleming S. J.* Thermoluminescence and glaze studies of a group T'ang dynasty ceramics. — *Archaeometry*, 1973, vol. 15, p. 31—52.
38. *Fleming S. J.* Thermoluminescent authenticity testing of ancient ceramics: the effects of sampling by drilling. — *Archaeometry*, 1971, vol. 13, p. 59—69.
39. *Fleming S. J., Sampson E. H.* The authenticity of figurines, animals and pottery facsimiles of bronzes in the Hui Hsien style. — *Archaeometry*, 1972, vol. 14, p. 237—244.
40. *Fleming S. J., Stoneham D.* Thermoluminescent authenticity study and dating of Renaissance terracotas. — *Archaeometry*, 1973, vol. 15, p. 239—247.
41. *Fleming S. J., Stoneham D.* The subtraction technique of thermoluminescent dating. — *Archaeometry*, 1973, vol. 15, p. 229—238.
42. *Gale N. H., Stos-Gale Z.* Bronze age copper sources in the Mediterranean: a new approach. — *Sci.*, 1982, vol. 216, p. 11—19.
43. *Gale N. H., Stos-Gale Z.* Lead and silver in the ancient Aegean. — *Sci. Amer.*, 1981, vol. 244, N6, p. 176—192.
44. *Gentner W., Muller O., Wagner G.* Silver sources of archaic Greek coinage. — *Naturwissenschaften*, 1978, vol. 65, N6, p. 273—285.
45. *Gibbons D., Lawson D.* An investigation of the silver content of Roman coinage by neutron activation analysis. — In: *Modern trends in activation analysis*. NBS spec. publ. 312. Washington, 1969, vol. 1, p. 226—229.
46. *Gordus A. A.* Neutron activation analysis of almost any old thing. — *Chemistry*, 1968, vol. 41, N5, p. 8—15.
47. *Guinn V. P.* Forensic application of neutron activation analysis. — In: *Activation analysis — principles and applications*. London, 1965. 125 p.
48. *Guinn V. P.* Neutron-activation analysis of bullet-lead evidence specimens in criminal cases. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1982, vol. 72, N1-2, p. 645—662.
49. *Guinn V. P. e. a.* Instrumental neutron activation analysis of WCC Manlicher—Carcano 6,5 mm bullet lead. — *Trans. Amer. Nucl. Soc.*, 1979, vol. 32, p. 188.
50. *Heizer R. F. e. a.* The Colossi of Memnon revisited. — *Sci.*, 1973, vol. 182, p. 1219—1225.

51. *Houtman J. P., Turkstra J.* Neutron activation analysis and its possible application for age determination of paintings. — In: *Radiochemical methods of analysis*. Vienna, 1965, vol. 1, p. 85—103.
52. *Irving W. N., Harington C. R.* Upper pleistocene radiocarbon-dated artefacts from the Northern Yukon. — *Sci.*, 1973, vol. 179, p. 335—340.
53. *Johanson D., Taieb M.* Plio-pleistocene hominid discoveries in Hadar, Ethiopia. — *Nature*, 1976, vol. 260, p. 293—297.
54. *Johanson D., White T. D.* A systematic assessment of early African hominids. — *Sci.*, 1979, vol. 203, p. 321—330.
55. *Jordan P., May K.* Identification of a modern imitation of an old scientific instrument by means of neutron activation analysis. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1977, vol. 39, p. 121—126.
56. *Keisch B., Callahan R. C.* Lead isotope ratios in artists' lead white: a progress report. — *Archaeometry*, 1976, vol. 18, N2, p. 181—193.
57. *Koenigswald G. H. R., Gentner W., Lippolt H. J.* Age of basalt flow at Olduvai, East Africa. — *Nature*, 1961, vol. 192, N4804.
58. *Leakey L. S. B., Evernden J. F., Curtis G. H.* Age of bed I, Olduvai gorge, Tanganyika. — *Nature*, 1961, vol. 191, p. 478—479.
59. *Leakey M. D. e. a.* Fossil hominids from Laetolil beds. — *Nature*, 1976, vol. 262, p. 460—466.
60. *Leakey M. D., Hay R. L.* Pliocene footprints in the Laetolil beds at Laetolil, Northern Tanzania. — *Nature*, 1979, vol. 278, p. 317—323.
61. *Leakey R. E. F.* Evidence for an advanced plio-pleistocene hominid from East Rudolf, Kenya. — *Nature*, 1973, vol. 242, p. 447—450.
62. *Lenihan J. M.* Adventures in activation analysis, 1953—1978. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1979, vol. 48, p. 125—134.
63. *Lux F., Braunstein L., Strauss R.* Investigation on the age and place of origin of paintings by neutron activation analysis. — In: *Modern trends in activation analysis*, NBS spec. publ. 312. Washington, 1969, vol. 1, p. 216—225.
64. *Mc Dougall I.* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra from KBS tuff, Koobi Fora formation. — *Nature*, 1981, vol. 294, p. 120—123.
65. *Meyers P.* Non-destructive activation analysis of ancient coins using charged particles and fast neutrons. — In: *Modern trends in activation analysis*, NBS spec. publ. 312. Washington, 1969, vol. 1, p. 230—245.
66. *Mello E. e. a.* Provenance studies of Roman amphorae by instrumental neutron activation analysis. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1982, vol. 69, N 1—2, p. 259—270.
67. *Metcalf D. M., Schweizer F.* The metal contents of the silver pennies of William II and Henry I (1087—1135). — *Archaeometry*, 1971, vol. 13, N2, p. 177—190.
68. *Morris R. A., Schwalbe L. A., London J. R.* X-ray fluorescence investigation of the shroud of Turin. — *X-ray Spectrometry*, 1980, vol. 9, p. 40—47.
69. *Oakley K. P.* Dating the emergency of man. — *Advancement Sci.*, 1962, vol. 18, N 75.
70. *Pearson R.* Introduction to anthropology. New York, 1974. 616 p.
71. *Pellicori S., Evans M.* The shroud of Turin through the microscope. — *Archaeology*, 1981, vol. 34, N1, p. 34—43.
72. *Schwarz H. P., Skoflek I.* New data for the Tala, Hungary archaeological site. — *Nature*, 1982, vol. 295, p. 590—591.
73. *Spargo P. E., Pounds C. A.* Newton's "derangement of the intellect" — new light on an old problem. — *Notes and Records of the Royal Soc. of London*, 1979, vol. 34, p. 11—32.
74. *Taieb M. e. a.* Geological and palaeontological background of Hadar hominid, Afar, Ethiopia. — *Nature*, 1976, vol. 260, p. 283—293.
75. *Van Dallen V., Das H. A., Zonderhaus J.* Nondestructive examination of Roman coins by neutron activation analysis. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1973, vol. 15, p. 143—149.
76. *Veres A., Pavlicsek I.* Determination of noble elements in coins by gamma-activation analysis. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1982, vol. 69, N1—2, p. 325—336.

77. Wallis H. e. a. The strange case of the Vinland. — *Geograph. J.*, 1974, vol. 140, pt 2, p. 183—214.
78. Walter R. C., Aronson J. L. Revisions of K/Ar ages for Hadar hominid site, Ethiopia. — *Nature*, 1982, vol. 296, p. 122—127.
79. Wendorf F. e. a. Use of barley in the Egyptian late palaeolithic. — *Sci.*, 1979, vol. 205, p. 1341—1347.
80. Wiedemann H. G., Bayer G. The bust of Nefertiti. — *Anal. Chem.*, 1982, vol. 54, p. 619A—628A.
81. Wyttenbach A., Bajo S., Hug E. Arsenic content of hair and bones in the case of suspected poisoning of R. Brun, first major of city Zurich. — *J. Radioanalyt. Chem.*, 1973, vol. 15, p. 9—12.
82. Zimmerman D. W., Huxtable J. Thermoluminescent dating of upper palaeolithic fired clay from Dolni Vestonice. — *Archaeometry*, 1971, vol. 13, p. 53—57.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>От редактора.</i> НТР и исторические науки: истоки, реальность, проблемы	3
Введение	12
Электромагнитное поле указывает место будущих раскопок . . .	14
Возраст находок — по радиоактивным «долгожителям» и палеомagnetизму	28
Датировка событий последних ста тысяч лет	61
Стабильные изотопы и микроэлементы говорят о происхождении находок	85
Радиотермолюминесценция проверяет подлинники и выявляет подделки	111
Ключ к решению вопросов — в изучении состава предметов . . .	139
Физика и нумизматика	170
Нейтроны уточняют обстоятельства смерти исторических личностей .	196
Вместо заключения	209
Использованная литература	211

ИБ № 1801

Петр Александрович Ваганов

ФИЗИКИ ДОПИСЫВАЮТ ИСТОРИЮ

Редактор *В. М. Николаева*

Художественный редактор *А. Г. Голубев*

Обложка художника *А. Н. Гришина*

Технический редактор *Г. М. Матвеева*

Корректоры *К. Я. Евнина, С. С. Кокина*

Сдано в набор 20.09.83. Подписано в печать 13.01.84. М-10632. Формат бум. 60×90^{1/16}.
Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,5.
Усл. кр.-отт. 13,75. Уч.-изд. л. 14,71. Тираж 15216 экз. Заказ № 376. Цена 90 коп.
Издательство ЛГУ им. А. А. Жданова. 199164, Ленинград, Университетская наб., 7/9.

Типография Изд-ва ЛГУ им. А. А. Жданова. 199164, Ленинград, Университетская наб., 7/9.

90 коп.

Физики
дописывают
историю

