**Место естественных наук в археологических исследованиях.**
Тема 1.

**Классификация естественнонаучных методов, применяемых в археологии.**

Научные дисциплины условно можно подразделить на 3 большие группы: естественные науки, общественные науки и технические науки. Предмет изучения естественных наук – природа. К естественным наукам относятся астрономия, физика, химия, геология, физическая география и биология.

Археология в классификации наук попадает в социальные науки, объектом изучения которых является человек, как существо социальное. Археология занимается реконструкцией человеческих сообществ – от первых изготовителей орудий труда до современных обществ. За исключением последних пяти тысячелетий эти сообщества не оставили нам никаких письменных свидетельств своего существования, так что для установления исторических, экономических и социальных аспектов развития человечества археологам остается основываться только на исследовании материальных останков минувших эпох. Важной задачей является извлечь как можно больше сведений из этих останков, и в решении этой задачи огромную роль играют методы естественнонаучных дисциплин.

Методы естественных наук, применяемые в археологии, можно условно разделить на физические, астрономические, химические, геологические, географические и биологические. Методы также подразделяются функционально:

- методы археологической разведки;

- методы реконструкции природной среды прошлого;

- методы реконструкции древних технологий;

- методы датирования.

Тема 2.

**Вводный обзор основных групп методов.**

**Физические методы**, применяемые в археологии, используются для решения трех основных видов задач.

1. Геофизическая разведка археологических объектов.

Для поиска археологических объектов используются следующие методы:

- *метод магнитной разведки*.

Магниторазведка основана на измерении магнитного поля Земли и выявление его аномалии, которая определяется естественным изменением структур в верхних слоях грунта и почвы, обусловленным существованием археологического объекта, отличающегося своими магнитными свойствами. Магниторазведка однозначно фиксирует месторасположение объекта, испытавшего термическое воздействие в прошлом.

- *метод электроразведки*, при котором с помощью тока измеряется сопротивление почвы, зависящее от уровня влажности. Там, где под землей находятся остатки стен, влажность меньше. Замечая, как меняются показания электроприборов, можно составить план древних жилищ, невидимых с поверхности.

- *метод электромагнитной разведки*.

Для изучения культурного слоя электромагнитная разведка является крупным методологическим достижением, в котором совмещены возможности магнито- и электроразведки, причем независимо от геологического строения изучаемой территории. При электромагнитной разведке используются металлические детекторы и радарная аппаратура. Испускаемые прибором электромагнитные лучи частично отражаются от границ слоев или поверхности находящихся под землей предметов и принимаются на экране. Самописец, определяя по времени отражения глубину находящихся под землей объектов, вычерчивает профиль ям, жилищных и других углублений до глубины 4 м.

- *сейсморазведка* основана на изучении упругих свойств археологических объектов, отличных от таких же свойств среды. Археологические объекты и вмещающая их среда по-разному отражают звуковые колебания и регистрируются особыми приборами. В сейсморазведке для археологических целей упругие волны создаются с помощью удара. Этим способом также можно обнаружить могильники, трещины, стены и т. Д.

2. Физические методы датирования:

- *методы радиометрического датирования*, основанные на определении степени распада содержащихся в археологических остатках радиоактивных элементов. Примером этой категории методов может служить самый известный из них – радиоуглеродное датирование (датировка по изотопу углерода 14С).

- *методы дозиметрического датирования*, основанные на зависящем от времени накоплении радиационных нарушений в металлах. Среди методов дозиметрического датирования различают: термолюминесцентный метод (ТЛ), метод оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) и электронный спиновый резонанс (ЭСР).

- *методы датирования по остаточной намагниченности.*Определение возраста по остаточной намагниченности основано на фиксации магнитного поля, возникшего в прошлом в глине, горной породе или каменном артефакте.

3. Физические методы изучения самих археологических находок.

Для установления источника археологической находки применяют *минералогический анализ*, при котором по некоторым уникальным физическим свойствам минералов входящих в состав находки можно установить источник ее происхождения.

Применяется также *изотопный анализ*, например, анализ изотопов свинца, который используется для установления из какой руды выплавлен свинец. Это важно, например, для установления источника при выплавке монет, орудий, красок, глазурей, стекол.

Кроме этого, физические методы могут применяться для сохранения и укрепления хрупких археологических находок, например, костей.

**Астрономические методы**

Астрономические методы могут применяться для астрономического датирования, основанного на знаниях об орбитальных параметрах Земли и ее движении вокруг Солнца. Известно, что 99,9% энергетического баланса на поверхности Земли, а, следовательно, погоду и климат, определяет Солнце. Временные флуктуации инсоляции приводят к периодическим флуктуациям температуры. Вращение Земли вокруг своей оси вызывает суточные изменения температуры, а ее орбитальное движение вокруг Солнца определяет годовые колебания. Климатические флуктуации - это длительные изменения орбиты Земли (20-100 тыс. Лет), которые называются циклы Миланковича и несут ответственность за ледниковые и междледниковые циклы четвертичного периода. Годовые и долговременные флуктуации оставляют отчетливые следы в геологических и биологических объектах, которые могут быть использованы для датировки.

Кроме этого, предприняты попытки датировать лунные и солнечные затмения по описаниям в древних источниках, сопоставляя их с современными данными о затмениях.

**Геологические методы**

Спектр геологических методов, применяемых в археологии довольно широк, хотя зачастую эти методы относятся к наукам, находящихся на границе между геологией и другими естественными науками.

К геологическим методам относятся:

- *стратиграфия* геологических отложений археологических объектов;

- *палеонтологические методы*;

- *палеопедологические методы;*

*- петрографический метод;*

*- минералогический метод.*

**Химические методы**

- *фосфатный анализ* применяется при палеопедологических исследованиях для исследование образцов грунта на содержание фосфатов.

- *анализ почвенных образцов на ртуть* также используется в археологии. Высокое содержание ртути в почве – отличительная особенность памятников, жители которых потрошили рыб анадромных видов (тех, что обитают в море, но нерестятся в пресной воде), поскольку их внутренности содержат большое количество ртути, сохраняющейся в почве там, где скапливались эти отбросы.

- *анализ почв на липиды* (жировые вещества) как на показатель наличия органических отходов.

- *датирование по рацемизации аминокислот.*

- *датирование по фтору, урану и азоту.*

- *метод гидратации обсидиана*.

- *датирование по катионному показателю*.

**Географические методы**

Географические методы применяются для археологического картирования. Археологическое картирование - это методика выявления и фиксации в пространстве всех проявлений древних культур.

*- ГИС (геоинформационные системы, GIS) в археологии.*ГИС — это автоматизированная система обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит географическая информация. С помощью ГИС можно создавать археологические информационные системы отдельных географических регионов, планов раскопок археологических памятников, изучать древние карты и т.д.Использование ГИС дает возможность не только фиксировать пространственное расположение археологических находок, но и прогнозировать местонахождение памятников на еще не исследованных территориях, основываясь на тенденциях их распространения.

- *GPS-технологии в археологии.*GPS (Global Positioning System) - глобальная система местоопределения. Состоит из 24 навигационных спутников, вращающихся по орбите вокруг Земли. Спутники передают информацию о точном времени и своем текущем местоположении, которые затем используется GPS-приемниками для расчета текущих координат пользователя на поверхности Земли или в околоземном пространстве методом триангуляции. Эта система круглосуточно обеспечивает определение трехмерных координат (местоположение + высота) в любой точке земного шара.

Значение GPS-съемки для археологии:

* Помогает выявлять и точно фиксировать в современной топооснове древние и современные антропогенные и природные структуры, новые и уже известные археологические объекты,
* Помогает разрабатывать маршруты разведок для проверки полученных сведений и точно учитывать площади для археологических исследований, картографирования и моделирования.
* Позволяет создавать объемную компьютерную модель выявленных структур, привязанных к реальному ландшафту.

*- Аэрофотосъемка*
ДИСЦИПЛИНАРНЫЙ МОДУЛЬ 2.

**Методы археологической разведки**.
Тема 1.

**Археологическая разведка**

Первым из геофизических методов, примененных в археологии, был метод электроразведки постоянным током. Суть метода заключается в том, что с помощью тока измеряется сопротивление почвы, зависящее от уровня влажности. Почти во всех случаях применяются симметричные четырехэлектродные установки AMNB с питающими электродами A и B и измерительными M и N. В качестве электродов для питающих линий АВ используют стальные, а для приемных линий MN медные или латунные электроды длиной 0,3—1 м и диаметром 1—3 см. В основе электроразведки лежит метод сопротивлений. Идея метода состоит в том, что электрическое поле, наблюдаемое на поверхности земли (δumn) при пропускании электрического тока через заземленные электроды (IAB), зависит от распределения удельного электрического сопротивления в некоторой области разреза вблизи установки. Размер (в т.ч. глубина) этой области зависит от геометрии установки, главным образом от расстояния между питающими (AB) и приемными (MN) электродами (т.н. разноса установки). Поэтому электрические зондирования в методе сопротивлений являются чисто геометрическими: изменяя разнос (геометрию) установки, мы изменяем глубину исследуемой области.

*Симметричное электропрофилирование.*При этом установка перемещается по профилю, глубинность установки не меняется. Эта методика предназначена для изучения горизонтально-неоднородных геоэлектрических разрезов. На территории перспективной для поиска разбивается система параллельных профилей, по которым симметричная четырехэлектродная установка последовательно перемещается с шагом, равным MN.

*Электрическое вертикальное зондирование (ВЭЗ).*При использовании этого метода установка неподвижна, глубинность установки (разнос) меняется. С помощью ВЭЗ исследуют изменение удельного сопротивления пород с глубиной. Этим методом изучается погребенный рельеф коренных пород, внутренняя структура земляных оборонительных сооружений, памятники с вертикально неоднородными культурными напластованиями и т.п.

Магниторазведка основана на измерении магнитного поля Земли и выявления его аномальной составляющей, которая определяется естественным изменением структур верхних слоев грунта, обусловленным существованием в них археологических объектов (в том числе и под водой). Археологические объекты характеризуются магнитными свойствами, отличающимися от магнитных свойств вмещающей среды. Магниторазведка однозначно фиксирует месторасположение объекта, испытавшего термическое воздействие в прошлом. Количественная интерпретация аномалий от археологических объектов позволяет определить не только их координаты, но и дать сведения о магнитном моменте, массе, геометрии и глубине залегания. Высокоразрешающая интерпретация магнитных аномалий стала возможна с появлением быстродействующих цифровых квантовых и протонных магнитометров. Их быстродействие позволяет геофизикам перейти от съемок по отдельным профилям к площадным съемкам, которые более информативны.

*Метод планшетов.*Это специфический вариант магнитной съемки, направленный на изучение мельчайших особенностей магнитного поля. Обследуемая площадь предварительно разбивается на квадратные или прямоугольные участки – планшеты – размерами 10х10 м, 20х20 м, 25х25 м. На каждом планшете выполняется микромагнитная съемка масштаба 1:100, 1:200 или 1:250.

*Метод свободного поиска.*Оператор с магнитометром обходит выбранный участок по произвольному маршруту без какой-либо намеченной сети. При обходе осуществляются периодические измерения. Маршрут и расстояние между замерами выбираются таким образом, чтобы весь участок оказался перекрытым сетью измерений не реже 1 х 1 м или 2 х 2 м. В случае появления на табло прибора значений, резко отличающихся от фоновых, на аномальном участке сгущается сеть наблюдений до 0,1 – 0, 2 с. В конечном счете, выявляются точки соответствующие экстремумам аномалии. После маркировки экстремумов немагнитными реперами на линии проходящей через экстремумы, выполняется профильная съемка. По результатам профильной съемки строятся графики аномалий и производится их предварительная интерпретация.

Для локализации намагниченных объектов, находящихся на дне водоемов на глубинах до 20-30 используют специально разработанный донный магнитометр, у которого магниточувствительный элемент помещен в немагнитный герметичный бокс, опускаемый под воду. Работа с таким магнитометром осуществляется с немагнитного маломерного плавсредства методом свободного поиска, хотя возможна и микромагнитная съемка по заранее размеченной сети. Применять донный магнитометр целесообразно для поиска относительно крупных объектов.

Сейсморазведка. Это геофизический метод изучения геологических объектов с помощью упругих колебаний — сейсмических волн. Метод основан на том, что скорость распространения сейсмических волн зависят от свойств геологической среды, в которой они распространяются. Методы сейсморазведки наиболее эффективны при изучении подстилающих археологических памятников грунтов, внутреннего строения земляных оборонительных сооружений и для локализации подземных пустот и погребенных архитектурных объектов. Наилучшие результаты достигаются в комплексе с другими геофизическими методами, в частности с вертикальным зондированием и контрольным бурением.

Эхолокация применяется для поиска затонувших объектов, находящихся на дне или в рыхлых отложениях водоемов.

Индикация металлов. Поверхность тысяч неукрепленных поселений в настоящее время распахивается, в большинстве случаев их культурный слой перемешан до такой степени, что исследователь не найдет на глубине, доступной плугу, ни остатков сооружений, ни прослоек, характеризующих тот или иной период жизни на поселении. Тогда для характеристики памятника остается только собрать разбросанные на поверхности вещи. Поиск таких вещей именуется в археологии сбором подъемного материала. В этом неоценимую помощь может оказать металлоискатель, позволяющий за час-два работы обнаружить скопления шлаков, указывающих на места выплавки металла. После этого все находки отмечаются на плане памятника.

Аэрофотосъемка - фотографирование местности с воздуха специальным аэрофотоаппаратом, установленным на самолёте, вертолёте, дирижабле, искусственном спутнике Земли или ракете (космосъемка). Основной метод работы с аэрофотоснимками – дешифрирование. Дешифрирование заключается в выявлении и распознавании заснятых объектов, установлении их качественных и количественных характеристик. В настоящее время дешифрирование производится цифровыми методами (ГИС-технологии)

Аэроархеология имеет более чем столетнюю историю. Первый археологический объект, который был сфотографирован с воздуха был знаменитый Стоунхендж. Фотографировали его в 1906 г. С воздушного шара. На аэрофотоснимках видно, что вокруг мегалитов был ров и вал, которые впоследствии были разрушены.

Распознать археологический объект на аэрофотоснимках можно, изучая характер растительности (cropmarks) и особенности почвенного покрова (soilmarks). В первом случае смотрят на особенности роста и созревания сельскохозяйственных культур, например, пшеницы или ячменя. Во рвах и углублениях почвы накапливается больше и растения растут выше и созревают раньше.

GPS навигация. GPS (англ. Global Positioning System ) — спутниковая система навигации (или navigation Satellite Timing and Ranging (NAVSTAR)). Позволяет в любом месте Земли (включая приполярные области), почти при любой погоде, а также в космическом пространстве вблизи планеты определить местоположение и скорость объектов. Основной принцип использования системы — определение местоположения путём измерения расстояний до объекта от точек с известными координатами — спутников. Расстояние вычисляется по времени задержки распространения сигнала от посылки его спутником до приёма антенной GPS-приёмника. Для определения трёхмерных координат GPS-приёмнику нужно знать расстояние до трёх спутников и время GPS системы. Для определения координат и высоты приёмника, используются сигналы как минимум с четырёх спутников. Основой GPS системы являются навигационные спутники, движущиеся вокруг Земли по 6 круговым орбитальным траекториям (по 4 спутника в каждой), на высоте примерно 20 180 км. Спутники излучают сигналы в диапазонах: L1=1575,42 мгц и L2=1227,60 мгц, последние модели также на L5=1176,45 мгц.

Навигационная информация может быть принята антенной (обычно в условиях прямой видимости спутников) и обработана при помощи GPS-приёмника. Информация в C/A коде (стандартной точности), передаваемая с помощью L1, распространяется свободно, бесплатно, без ограничений на использование.

24 спутника обеспечивают 100% работоспособность системы в любой точке земного шара, но не всегда могут обеспечить уверенный приём и хороший расчёт позиции. Поэтому, для увеличения точности позиции и резерва на случай сбоев, общее число спутников на орбите поддерживается в большем количестве. Максимальное возможное число одновременно работающих спутников в системе GPS ограничено 32.

Кроме космического сегмента существует еще и наземный сегмент. Наземный сегмент контролируется Министерством Обороны США (у системы NAVSTAR). Он состоит из пяти контрольно-измерительных станций, которые находятся на Гавайях, на Кваджалейне, на острове Вознесения, в Диего-Гарсия и Колорадо-Спрингс, четырех станций связи и центра управления всей системой, расположенного на авиабазе в Шривере, штат Колорадо.

Факторы, вносящие ошибку в определение местоположения:

- «Избирательный доступ" - это преднамеренное уменьшение точности гражданских GPS-навигаторов, осуществляемое Министерством обороны США. Он приводит к уменьшению точности максимум до 100 метров. - отключен в 2000 г.

- Геометрия спутников, т.е. Как они расположены относительно друг друга и GPS-приемника. Геометрия спутников становится особенно важной при использовании GPS-приемника в автомобиле, среди высоких зданий, в горах или в глубоких ущельях.

- Переотражение спутникового сигнала от различных объектов.

Другие факторы: например, задержка прохождения сигнала из-за различных атмосферных феноменов. Или ошибка хода часов приемника.

- Точность гражданских GPS -приемников может быть увеличена до 4 м и более (в ряде случаев - до 1 м) с помощью дифференциальной GPS (DGPS).

*Дифференциальная коррекция* - это метод, который значительно увеличивает точность собираемых GPS-приемником данных. Используя такой метод, можно определить местоположение буквально до сантиметров. В этом случае один приемник расположен в точке с известными координатами (базовая станция), а второй приемник собирает данные в точке с неизвестными координатами (ваш передвижной приемник). Так как координаты базовой станции известны, то она может вычислить ошибки, содержащиеся в спутниковом сигнале. То есть базовая станция может уточнить координаты спутников и передать скорректированные данные вашему подвижному приемнику.

Уточненные данные называются дифференциальными коррекциями и используются для точного определения месторасположения. Дифференциальные коррекции передаются с базовой станции на ваш приемник посредством радиосвязи.

Задача структуризации археологических данных с целью поиска и анализа информации существовала с момента появления археологии как науки. Бумажные каталоги на определенном этапе сменились электронными базами данных (БД).

Системы управления базами данных (СУБД) позволили оперировать большими объемами информации, вести поиск и сортировать данные по большому количеству критериев. Это привело к созданию баз данных разного профиля: появились административные и исследовательские регистры памятников, музейные каталоги, базы данных по раскопкам (находки с атрибутами, взаиморасположение в слоях и т.д.), базы по вещевому материалу, надписям, результатам анализов, библиографическим и библиотечным каталогам и т.д.

Географическая информационная система (ГИС) - современная компьютерная технология для картографирования и анализа объектов реального мира, происходящих и прогнозируемых событий и явлений. Привязка археологических данных к местности стимулировала широкое привлечение ГИС. ГИС — это автоматизированная система обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит географическая информация. По структуре ГИС является СУБД, имеющей географическую привязку данных к определенной точке на местности и встроенную систему пространственного анализа. ГИС объединяет традиционные операции при работе с базами данных - запрос и статистический анализ - с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Таким образом, ГИС можно определить как систему сбора, обработки, графического представления (визуализации) и анализа пространственно-распределенных данных. А также, ГИС можно рассматривать как библиотеку или склад, в котором по полочкам аккуратно разложены легко доступные для просмотра документы.

С помощью ГИС можно создавать археологические информационные системы отдельных географических регионов, планов раскопок археологических памятников, изучать древние карты и т.д.

Данные в геоинформационных системах хранятся в виде набора тематических слоев, которые объединены на основе их географического положения. Геоинформационные системы могут работать как с векторными, так и с растровыми моделями данных.

Неогеография — новое поколение средств и методов работы с геопространственной информацией, отличающееся от предыдущих (карт и ГИС) тремя основными признаками:

- использованием географических, а не картографических, систем координат;

- применением растрового, а не векторного представления географической информации в качестве основного;

Использованием открытых гипертекстовых форматов представления геоданных.

Классическими примерами технологий нового поколения являются геопорталы Google Earth, Yahoo Maps, Virtual Earth (Microsoft).
ДИСЦИПЛИНАРНЫЙ МОДУЛЬ 3.

**Методы прямого и непрямого датирования археологических объектов.**
Тема 1.

**Методы датирования: терминология и основы**

При относительном датировании применяются методы, которые устанавливают точный хронологический порядок событий: до/после, моложе/старше и ранний/средний/поздний. Классические методы стратиграфии, применяемые для относительных датировок, позволяют устанавливать последовательность событий в прошлом на основе изучения литологических особенностей и ископаемых остатков в породах.

При увеличении пространственного расстояния между событиями при относительной хронологии возрастает ошибка определения. Для этого события, датированные методами относительного датирования, должны быть сопоставлены с хронометрической шкалой времени.

Хронометрическое датирование включает методы, которые помогают точно датировать события. Обычно эти даты приводятся в единицах времени – год (лет), тыс. лет или млн. лет. Для целей хронометрического датирования используется радиоактивность, кинетика химических реакций, вариации магнитного поля Земли и процессы, вызываемые изменениями климата.

Хронометрический возраст определяется как промежуток времени в годах между определенным археологическим событием в прошлом и определенным моментом времени в настоящем. Между моментом измерения возраста и настоящим моментом тоже существует некоторый промежуток времени, который следует прибавлять к измеренному значению возраста. Если речь идет о миллионах лет, этот временной интервал значения не имеет, т.к. Незначителен по сравнению с ошибкой определения возраста. Но если речь идет об объекте более близкого нам возраста ошибки в определении возраста могут быть сопоставимыми или даже меньше, чем время, прошедшее с момента определения возраста. В таких случаях удобнее говорить не о возрасте, а о дате, точно привязанной к календарю.

Даты приводятся в виде года: «BC» - Before Christ (до Рождества Христова) – года до новой эры; «AD» – Anno Domini (после Рождества Христова) – года новой эры.

Радиоуглеродные годы могут быть короче или длиннее календарного. Поэтому значения 14С возраста нуждаются в калибровке. По договоренности радиоуглеродные значения возраста приводятся как число лет до настоящего времени. Календарный год, вычисленный с помощью калибровки из радиоуглеродного, помечается символом «cal» или «кал.», и приводится либо как “cal AD” - календарный год нашей эры, “cal BC” - календарный год до н.э., или как возраст «cal BP» (Before Present). Пометка “BP” определяет «настоящее время» как 1950 г. н.э. (время зарождения хронометрических исследований).

Физическое явление радиоактивности является основой хронометрических исследований. Скорость радиоактивности определяется только свойствами ядер и поэтому не зависит от параметров среды, таких как температура, давление и химический состав. В этом уникальное преимущество радиометрических методов дативарония по сравнению с другими. Радиоактивными элементами в строгом смысле являются все элементы, идущие в таблице Менделеева после свинца (включая висмут), а также элементы технеций и прометий. Следующие элементы содержат в природных смесях хотя бы один радиоактивный изотоп: калий, кальций, ванадий, германий, дубний, селен, рубидий, цирконий, молибден, кадмий, индий, теллур, лантан, неодим, самарий, гадолиний, лютеций, гафний, вольфрам, рений, осмий, платина, висмут, торий, уран. Радиоактивный изотоп углерода образуется из атмосферного азота под действием космических лучей.

Использование радиоактивности для определения возраста заранее предполагает, что ни материнский, ни дочерний нуклид не исчезают и не появляются иначе как в результате самого процесса радиоактивного распада, т.е. При условии существования закрытой системы. Если образующийся радиогенный нуклид также нестабилен, то он тоже в свою очередь распадается и образуется цепочка распада, заканчивающаяся в итоге формированием стабильного конечного звена.

В природе встречаются различные виды радиоактивных нуклидов и многие из них могут быть использованы для хронометрии. В зависимости от их происхождения их можно подразделить на разные категории.

- *первичное происхождение*: нуклид сохранился с момента нуклеосинтеза, то есть он появился раньше, чем появилась Земля. Такие нуклиды имеют очень большие периоды полураспада (калий, уран).

- *радиогенное происхождение*: нуклид образовался радиогенным путем в цепях распада урана и тория. Эти нуклиды имеют периоды полураспада менее 250 тыс.лет (свинец, радий, торий).

- *космогенное происхождение*: нуклид образуется в результате взаимодействие космического излучении с атмосферой или поверхностью Земли. Космогенные нуклиды имеют различные периоды полураспада (углерод, гелий).

- *антропогенное (техногенное) происхождение*: нуклид образуется на атомных электростанциях и при ядерных взрывах (водород).

- *нуклеогенное происхождение*: нуклид образуется в ядерных реакциях, индуцированных нейтронами, образующимися в природных реакциях (аллюминий).
Погрешности метода хронометрического датирования. Любое измерение имеет некоторую погрешность. Измеренная величина (х) представляет собой только некоторое приближение к искомой величине, являющейся и остающееся неизвестной. Возможное отклонение измеренной величины от ее истинного значения оценивается через погрешность, или «ошибку» измерения. Погрешность ±σ (сигма) определяет интервал от (х-σ) до (х+σ) в окрестностях измеренного значения х, так что истинное значение величины х находится с некоторой заданной вероятностью внутри этого интервала (доверительного интервала). Погрешность является неотъемлемой и обязательной составляющей сообщаемых результатов измерений в виде х±σ. Возраст без указания ошибки определения имеет нулевую вероятность.
Тема 2.

**Радиометрические методы датирования.**

**Методы датирования с использованием благородных газов радиогенного происхождения**

На образовании радиогенных нуклидов благородных газов основано два хронометрических метода: калий-аргоновый (K-Ar) и уран-гелиевый (U-He).

В K-Ar-методе используется явление радиоактивного превращения изотопа 40К в изотоп 40Ar, а в U-He – накопление радиогенного изотопа гелия 4Не, который образуется в процессе альфа-распада элементов уранового и ториевого рядов. Благородные газы инертны в химическом отношении и не входят в кристаллические структуры. Следовательно, в процессе минерализации дочерние нуклиды (аргон и гелий) не участвуют. Таким образом, количество радиогенного компонента, образовавшееся или накопленного в образце, напрямую связано со временем, прошедшим с момента образования кристалла.

При достаточном нагревании любой благородный газ, содержащийся в этом кристалле, будет полностью удален, возвращая тем самым «часы», основанные на радиогенном образовании благородных газов, в исходное положение.

Применение K-Ar метода ограничено вулканическими породами и минералами. Наши знания о ранних гоминидах, их эволюции в местах обитания и расселении из Африки основываются на определении возраста таких разрезов калий-аргоновым методом. Одним из самых известных мест с останками ранних гоминид является ущелье Олдувай в Танзании.

**Датирование по космогенным нуклидам**

На Землю постоянно падает поток космических лучей, которые взаимодействуют с атмосферой и достигают земной поверхности в сильно ослабленном и измененном виде. *Первичное космическое излучение* состоит из высокоэнергичных частиц внеземного происхождения, в основном ядер H и He. Первичные частицы почти полностью поглощаются в верхних слоях атмосферы, реагируя при столкновении с атомами N и O.

Происходящие ядерные реакции рождают *вторичное космическое излучение*, состоящее из субатомных частиц более низкой энергии. Эти частицы (протоны и нейтроны) сталкиваются с ядрами атмосферных газов и замедляются, теряя энергию.

Некоторая часть космических лучей достигают земной поверхности, где останавливается, поглощаясь в горных породах.

В ядерных реакциях образуются как радиоактивные, так и стабильные нуклиды. Для задач датировки интересны радиоактивные космогенные изотопы водорода, бериллия, углерода, алюминия, кремния, хлора, аргона, кальция и криптона.

Для того чтобы нуклид мог быть использован в датировании, необходимо точно знать скорость его образования, что достигается как экспериментальными исследованиями, так и теоретическими расчетами.

Атмосферные космогенные нуклиды (3Н, 10Bе, 14С, 26Al, 32Si, 36Cl, 39Ar, 81Kr) образуются в ядерных реакциях космических лучей с атмосферными атомами, преимущественно с азотом, кислородом и аргоном. Включаясь в цикл переноса, эти изотопы могут проникать далее в другие резервуары: в биосферу, гидросферу и литосферу. Концентрация радиоактивных космогенных нуклидов в атмосфере удерживается на некотором уровне, соответствующем равновесию между образованием, распадом и уходом в другие резервуары. В этих резервуарах ситуация иная чем в атмосфере – космогенные изотопы там не образуются, а только поступают извне и распадаются. Когда суммарный приток и распад компенсируют друг друга, поддерживается равновесная концентрация космогенного нуклида. Но если поступление в резервуар прекращается (например, со смертью организма или отложением осадка) содержание изотопа в ней начнет убывать за счет радиоактивного распада.

Процесс имеет строгую временную зависимость (период полураспада), поэтому, если известно остаточное содержание изотопа, можно датировать момент отделения подсистемы (например, смерть организма), т.е. возраст.

Тема 3.

**Дендрохронологический метод.**

**Дендрохронологический метод.**Дендрохронология занимается изучением хронологических последовательностей ежегодного прироста колец деревьев. Корректное применение метода позволяет установить точное положение каждого кольца на спиле древесины и истинный год, в который оно произрастало.

Впервые сформулировал и широко применил на практике основные принципы и методы дендрохронологии в начале XX в. Американский астроном Эндрю Дуглас.

Сезонное различие условий произрастания деревьев приводит к тому, что древесина, нарастающая зимой и летом, отличается своими характеристиками, в том числе плотностью и цветом. Визуально это проявляется в том, что древесный ствол на поперечном распиле имеет чётко видимую структуру в виде набора концентрических колец. Каждое кольцо соответствует одному году жизни дерева («зимний» слой тоньше и визуально просто отделяет одно «летнее» кольцо от другого). С использованием измерительного стола, оснащенного подвижной платформой, на которую укрепляют образец, и неподвижно закрепленным бинокулярным микроскопом подсчитывают число и ширину годичных колец, затем проводят статистическую обработку данных и получают обобщенные синхронизированные кривые роста годичных колец.

На основании исследования образцов древесины, датировка которых заведомо известна, строится дендрохронологическая шкала — последовательность толщин годичных колец деревьев определённой породы в определённой местности, от текущего момента и как можно далее в прошлое. Для близких к современности периодов используются измерения годичных колец живых деревьев, имеющих достаточно большой возраст.

Для того, чтобы продлить шкалу датировок на временной промежуток свыше пределов жизни одного дерева, используют «*перекрёстную датировку*». Её суть заключается в увязывании воедино следующих друг за другом поколений деревьев, годы жизни которых перекрываются.

C помощью дендрохронологического метода можно построить абсолютные и относительные шкалы датировок. Если известно точное (абсолютное) время жизни одного из поколений деревьев, участвующих в датировке, то получившаяся шкала будет абсолютной. С помощью абсолютной шкалы датировок можно определять возраст деревянных предметов практически со 100%-ной надёжностью.

В некоторых случаях удаётся построить фрагменты дендрохронологической шкалы, опираясь на фрагменты древесины, датированные иным образом (например, радиоуглеродным методом). В таких случаях получившаяся шкала будет уже не абсолютной, а относительной. Достоверность датирования с помощью относительных шкал находится в зависимости от достоверности датирования «опорных» образцов.

Дендрохронологический метод используется в археологии с 20-х годов, как в России, так и в Европе и США. В нашей стране активный интерес к дендрохронологии возник в 50-60-е годы, благодаря уникальным раскопкам Больших пазырыкских курганов Саяно-Алтайского региона.

Тема 4.

**Радиационная дозиметрия.**

Существует три дозиметрических метода датирования:

-Термолюминесценция (ТЛ)

- Оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ)

- Электронный спиновый резонанс (ЭСР)

Они основаны на зависящем от времени накоплении радиационных нарушений в минералах. В природе всегда присутствует небольшой уровень ионизирующего излучения, связанного с естественной радиоактивностью и космическим излучением. Взаимодействие между этим излучением и атомами минералов приводит к постепенно усиливающимся радиационным нарушениям. Степень нарушений является мерой естественной дозы облучения (Natural Dose - ND), которую минерал получил с тех пор, когда он был образован или когда его хронометрическая система была запущена последний раз. Минерал используется как природный дозиметр облучения. Если естественная доза облучения прочитана посредством измерений дозиметрическим методом и при условии, что известна мощность естественной дозы (Natural Dose Rate - NDR), то есть доза за единицу времени, то есть возможность рассчитать возраст t (T = ND/NDR). Доза измеряется в Грэях (Гр). Мощность дозы измеряется в Гр/сек. Для естественной мощности дозы чаще используют Гр/тыс. Лет.

*Термолюминесценция* – это избыток «холодного» света (люминесценции) в свечении нагретого непроводящего твердого тела. Она вызывается радиационными нарушениями, накопленными в кристаллической решетке. Ее интенсивность зависит от дозы облучения и представляет собой инструмент для определения возраста.

Для термолюминесценции необходимо существование дефектов в кристаллах, которые служат ловушками для положительных и отрицательных зарядов, возникающих под действием ионизирующего излучения в атомах структурной решетки. То есть тело во время облучения может кроме тепловой энергии принимать и сохранять энергию ионизирующего излучения. Фаза, во время которой твердое тело приобретает латентную ТЛ, называют фазой возбуждения. Под действием тепла или света нетепловая часть энергии, содержащаяся в твердом теле, может излучаться в виде люминесценции (фаза стимуляции).

Чем старше образец, тем больше будет фиксироваться «вспышек» света.

Первыми археологическими материалами, на которых был проверен новый метод, были керамика и кирпичи. В течение 1960-70х годов его главным применением было датирование керамики, но с 1980 г. стал применяться для датирования осадков. ТЛ датирование выходит далеко за пределы радиоуглеродного метода и имеет возрастной диапазон от нескольких сотен до 1 млн. лет.

*Оптически стимулированная люминесценция (ОСЛ)* тесно связана с явлением термолюминесценции. Только в отличие от ТЛ электроны удаляются из своих ловушек не термически, а оптически. Метод ОСЛ датирования активно развивается и обладает рядом физических преимуществ перед методом ТЛ, так как позволяет датировать от 0 до 150 тысяч лет, обладает большей точностью (5-10%), требует меньше материала для датирования и в отличие от радиоуглеродного метода позволяет датировать неорганический материал. ОСЛ-метод применяют для датирования дюн, лессов, песков, коллювиальных и аллювиальных алевритов, археологических отложений, тефры и керамики.

*Электронный (спиновый) парамагнитный резонанс* (ЭПР) – это явление резонансного поглощения электромагнитного излучения парамагнитными частицами, помещенными в постоянное магнитное поле. Датирование методом ЭПР основано на накоплении в минералах радиационно-индуцированных парамагнитных центров, то есть центров, возникших при действии ионизирующего излучения. Возрастные пределы датирования методом ЭПР охватывают от нескольких сотен лет до 106 лет. Ошибка метода составляет 10-20 %.
ДИСЦИПЛИНАРНЫЙ МОДУЛЬ 4.

**Биологические методы в археологии.**

Тема 1.

**Палеоботанические методы.**

*Лихенометрия* — использование лишайников для датировки скальных поверхностей. Как только обнажается скальная поверхность, на нее попадают споры различных организмов. Большая их часть погибает, не встретив подходящих условий для жизни. Однако споры некоторых лишайников прорастают и образуют талломы, увеличивающиеся с каждым годом. Измеряя размеры наибольших талломов и зная ежегодный прирост, можно построить график увеличения диаметра таллома и соответственно вычислить время обнажения скальной породы. Некоторые лишайники имеют возраст 4000 лет.

*Палеокарпологический метод* основан на определении ископаемых плодов, семян, мегаспор, листьев, хвои, шишек и других остатков растений, объединяемых общим названием «карпоиды».

Задачи палеокарпологии:

* Восстановление физико-географической обстановки прошлого
* Реконструкция фитоценозов прошлого
* Реконструкция климатов прошлого
* Определение геологического возраста пород и их генезис
* Особенности захоронения растительных остатков

В случае если семена и плоды быстро изолируются от губительного воздействия кислорода и микроорганизмов, они могут сохраняться на протяжении сотен тысяч и многих миллионов лет.

Подобная изоляция происходит в тех случаях, когда плоды и семена после попадания на субстрат перекрываются мощной толщей рыхлых отложений в условиях закисной среды. В такой обстановке происходит захоронение листьев, хвои, шишек, древесины и других остатков растений.

*Палинологический метод*. Палинологический или спорово-пыльцевой анализ применяется для реконструкции растительного покрова и климата прошлых эпох. Кроме этого, палинологический анализ может служить инструментом для установления стратиграфических границ в геологических разрезах и археологических раскопах. Палинологический анализ в последние десятилетия широко используется в археологических работах, причем данные, полученные с помощью этого метода, часто являются определяющими при решении вопросов палеоэкологии человека в древности и средневековье.

Объектами палинологического анализа являются палиноморфы. В первую очередь это пыльца покрытосеменных и голосеменных растений, а также споры растений и грибов, растительные устьица, остатки клеток водорослей, микроскопические остатки животных (например, яйца тихоходок) и т.д.

Тема 2.

**Палеофаунистические методы.**

Начиная с самых ранних этапов антропогенеза, остатки млекопитающих постоянно присутствуют на стоянках древнего человека. Поэтому при исследованиях разновозрастных культурных слоев археологических памятников большое внимание уделяется отбору и последующему исследованию костей ископаемых млекопитающих.

Концентрация остатков млекопитающих происходила двумя путями:

- как охотничьих трофеев древнего человека,

- в результате гибели ряда животных на месте стоянки.

Ценность териологического метода заключается в том, что время захоронения костных останков в культурных слоях стоянок в целом достаточно точно коррелируется со временем существования древнего человека на данном памятнике, то есть накопление костей млекопитающих происходило в узкий временной интервал

Наиболее диагностичными костными останками, используемыми для установления вида млекопитающего, являются череп, и, особенно, зубная система. Особенно ценны для таксономического определения кости крупных млекопитающих, число видов которых намного меньше чем у мелких, что облегчает их диагностику.

Важным при исследовании костного материала является установление его количественного распределения по стратиграфическим уровням. Статистический анализ дает возможность проследить изменения обилия видов разной биотопической принадлежности и реконструировать палеоландшафтную и климатическую динамику, даже если видовой состав фауны не менялся. Изучение остатков фауны млекопитающих из культурных слоев археологических памятников проводится в нескольких направлениях и позволяет:

- реконструировать окружающую среду прошлого на основе экологической приуроченности обнаруженных видов;

- датировать археологические памятники;

- выявлять типы хозяйства древнего человека.

Расселение млекопитающих контролируется значительным набором факторов, как исторических, так и биогеографических. Определяющими являются такие факторы как климатические условия, растительный покров, биологическая конкуренция, история территории. В свою очередь у животных возникают специализированные адаптации к условиям среды, которые сформировались в течение длительного геологического времени и закрепились на генетическом уровне. Это дает основание использовать данные по видовому составу сообществ млекопитающих для реконструкции условий их обитания в те или иные интервалы прошлого.

Главными ограничивающими факторами при реконструкции среды обитания древнего человека по палеотериологическим материалам является недостаток фактических данных.

Млекопитающие эволюционировали в прошлом очень интенсивно и на протяжении позднего кайнозоя в ряде филогенетических линий насчитывается несколько хорошо выраженных эволюционных стадий (палеонтологических видов), фиксируемых по заметным морфологическим изменениям их скелета.

Сочетание в культурных слоях стоянок остатков видов млекопитающих разных филогенетических линий, находящихся на определенной стадии развития, позволяет исследователям установить возрастную приуроченность ископаемых фаун млекопитающих и тем самым датировать памятник.

Начиная с ранних этапов антропогенеза млекопитающие являлись объектом охоты древнего человека. Наиболее значительные скопления костных останков на стоянках каменного века являются результатом охотничьей деятельности палеолитических людей. В палеолите ради мяса и пушнины добывалось около 20 видов млекопитающих. В эпоху позднего палеолита на юге Русской равнины основными промысловыми животными являлись первобытный бизон, тур, лошадь, плейстоценовый осел, сайга. Севернее охотились преимущественно на мамонта, шерстистого носорога, северного оленя. В горах Кавказа основными промысловыми животным являлись благородный и гигантский олени, козлы, бизоны; на Урале – северный олень, мамонт, шерстистый носорог, росомаха, волк, а в Средней Азии – лошадь, благородный , олень, верблюд, тур и баран.

Наряду с использованием млекопитающих в пищу и для изготовления одежды, костные остатки и шкуры животных использовались первобытными людьми и для построения жилищ. Уникальные находки таких сооружений из костей мамонта, северного оленя были сделаны на ряде палеолитических памятников Восточной Европы: на мустьерских памятниках бассейна Днестра (Молодово) и Дона (Костенки).

В культурных слоях палеолитических и более поздних памятников обнаружены многочисленные изделия из кожи. Костный материал широко употреблялся для изготовления орудий труда, а также произведений искусства.

Значительным событием в жизни первобытного общества явилась доместикация ряда видов млекопитающих. В мезолите была одомашнена собака. В неолите на территории Турции, Ирака , Ирана произошло одомашнивание овцы и козы. Около 8-7 тыс. Лет назад на Анатолийском плато был одомашнен крупный рогатый скот. Свиньи доместицированы 9-8 тыс. Лет назад в Передней Азии. Лошадь была одомашнена в степях и лесостепях Южного Приуралья и Северного Понто-Каспия около 5 тыс. лет назад.
Малакологический метод. Раковины моллюсков довольно часто встречаются в культурных слоях и разделяющих их стерильных толщах. При этом раковины сохраняют детали своей морфологии и биохимии, что позволяет не только идентифицировать видовой состав, но также и использовать результаты химических и изотопных анализов раковин. Диапазон обитания моллюсков очень широкий - от морских до пресноводных водоемов до сухопутных условий; от арктического до тропического климата. В культурных слоях моллюски дают возможность восстановить древние ландшафты, биотопы, климатические условия, уточнить хозяйственную деятельность, торговые связи и миграции древнего человека.

Моллюски имеют широкое распространение во всех фациях отложений и культурных слоях: в континентальных, аллювиальных (речные, озерные, болотные) и морских.Они являются показателями не только фаций, но и различных условия среды: ландшафтов, температуры, увлажненности, глубины водоемов, скорости течения, насыщенности питательными веществами, обеспеченности кислородом.

Для восстановления условий обитания и типов ландшафтов используется метод актуализма. В долине реки в зависимости от типа водоема можно реконструировать ряд пойменных водоемов, используя динамику воды, то есть скорость течения. В русловых фациях обитает реофильная малакофауна, требующая высокого содержания кислорода. Водоемы со слабым течением заселяют лимнофильные виды, также требовательные к большому количеству кислорода, но к меньшему количеству питательных веществ. Стоячие мелкие водоемы населяют стагнофилы, которым не нужно высокого содержания кислорода. Наземные моллюски обычно обитают в лесной подстилке, на камнях, на траве и являются хорошими индикаторами природных зон. Имеется ряд характерных видов для лесной зоны, зоны лесостепей, полупустынь и пустынь. Поэтому в зависимости от видового состава можно восстановить древние ландшафты и биоценозы, а также их динамику во времени.

На основании фауны моллюсков можно реконструировать как качественные (теплее-холоднее, ариднее-гумиднее), так и количественные климатические показатели (температура, влажность). Поскольку моллюски являются холоднокровными организмами, то их видовой и родовой состав меняется в зависимости от климата. И не только от температуры воды для пресноводных и морских видов, но также и от влажности воздуха, характера подстилающего грунта, почв и растительности для наземных моллюсков.

Для каждого региона установлены уровни последнего появления (вымирания) отдельных видов. Такие виды можно использовать для определения геологического возраста. Раковины моллюсков хороший материал для радиометрического датирования. Для молодых голоценовых археологических стоянок используют радиоуглеродный метод, более древние стоянки раннего и среднего палеолита можно датировать по крупным раковинам, используя уран-ториевый метод.

Частая встречаемость раковин моллюсков и их разнообразие свидетельствуют о многообразии их использования древним человеком. Наиболее часто раковины встречаются в кухонных отбросах. Часто около стоянок находят кучи раковин. При этом отмечается резкое преобладание одного вида.

Тема 3.

**Антропологический метод и другие методы изучения останков древнего человека.**

Антропология - это наука, которая изучает физическое развитие и конституцию человека, ростовые процессы, индивидуальную, возрастную и половую изменчивость во времени, измеряемом геологическими масштабами (антропогенез) и пространстве (внутривидовая дифференциации человека –расоведение). Основная задача палеоантропологии – изучение древнего населения и древних захоронений. Материал для палеоантропологических исследований - костные останки человека.

Изучение скелетных останков носителей археологических культур открывает новые перспективы для воссоздания образа жизни древнего населения. Итогом применения метода биоархеологических реконструкций становятся сведения о продолжительности жизни, состоянии здоровья, питания в различных палеопопуляциях.

В настоящее время важную роль в палеоантропологических исследованиях приобрели палеоэкология, палеопатология и палеодиетология. Молекулярно-генетические исследования позволяют определить пол индивида, дают информацию об эволюции гоминид.

Молекулярно-генетический анализ. Впервые молекулярно-генетический анализ древней ДНК был проведен в 1985 г. Для египетской мумии древностью 2,5 тыс. л. Затем была разработана методика исследования митохондриальных ДНК (мтднк) для нескольких мумий давностью 1 тыс.-8 тыс. лет. У большинства многоклеточных организмов митохондриальная ДНК наследуется по материнской линии. МтДНК имеет высокую скорость мутирования и является хорошим объектом для изучения филогении живых организмов. Для этого определяют последовательности мтДНК у разных видов, сравнивают их при помощи специальных компьютерных программ и получают эволюционное древо для изученных видов.

Исследование мтДНК в популяциях человека позволило вычислить «митохондриальную Еву», гипотетическую прародительницу всех живущих в настоящее время людей. Полиморфизм мтДНК изучен для целого ряда современных популяций Евразии, которые потенциально могут иметь генетические связи с анализируемой культурой. Наиболее информативным методом является определение первичной нуклеотидной последовательности контрольного района путем секвенирования.

В настоящее время создан целый банк данных для секвенированных последовательностей ДНК контрольного района нескольких выборок европейцев, коренного населения Северной Азии и Горного Алтая, японцев, монголов, коренных жителей Нового Света, Полинезии и Африки.

Изотопный анализ останков человека и животных по углероду и азоту является качественным методом оценки рациона питания, а следовательно, образа жизни. Его применение особенно продуктивно в тех случаях, когда других сведений практически нет. Элементные составы органики (содержание C, N, O) для организмов с большим содержанием (животные, рыбы) и с малым содержанием (растения) белка различаются по изотопному составу элементов. Изотопные значения углерода отражают тип экосистемы, которая определяет растительную основу диеты конкретного человека. Изотопные значения азота отражают выбор индивидуумом растительной или животной пищи (травоядные, всеядные, плотоядные). Изотопной анализ углерода (13С) и азота (15N) из образцов костей и волос мумий показал, что рацион у пазырыкцев был богат животными белками наземных позвоночных и рыб.
ДИСЦИПЛИНАРНЫЙ МОДУЛЬ 5.

**Геологические методы в археологии.**

Тема 1.

**Стратиграфический метод.**

Стратиграфический метод, состоящий в выявлении культурных отложений, порядка их чередования и в установлении хронологического соотношения между этими слоями. Данный метод основан на наблюдении, что определённое культурное отложение, находимое в земле выше другого, сформировалось позже него. Возможные исключения связаны с нарушением культурного слоя (перекопы, деятельность грызунов и т.д.).

Для установления характера и относительной датировки слоев, прослоек, а также сооружений, погребений и вещей применяется метод археологического исследования, называемый стратиграфией. Он заключается в изучении напластований культурного слоя, подстилающих и перекрывающих его пород, а также чередования искусственных насыпей и заполнений ям.

В культурных напластованиях часто можно выделить два-три, а иногда и много больше слоев, различающихся по составу, цвету, структуре или содержанию. Эти слои соответствуют периодам истории поселения, обычно отличающимся хозяйственно-экономическими условиями жизни населения. Например, в городах Волжской Болгарии, переживших монголо-татарское нашествие, домонгольский слой по составу, а часто и по цвету отличен от более позднего слоя. Таким образом, вычленение слоев внутри культурных напластований позволяет разбить период существования поселения на более мелкие хронологические отрезки и тем самым определить и подробнее изучить каждый важный этап его жизни.

Изучение таких слоев важно и для хронологии памятника. В непотревоженных отложениях нижние слои древнее верхних. Вещи, находящиеся в одном таком слое, имея в виду скачкообразность его нарастания, приблизительно одновременны; по ним может быть датирован содержащий их слой, который в свою очередь ограничивает время других имеющихся в нем вещей.

Слой отражает общее направление хозяйственной жизни поселения. Он обычно имеет значительную протяженность и мощность. Внутри его часто встречаются тонкие прослойки, отражающие хозяйственный эпизод . Прослойки ограничены по протяженности и толщине и, как правило, залегают внутри данного слоя или на его границе. Чаще всего образование прослойки произошло в короткий срок, неожиданно быстро. Ввиду того что условия материальной жизни поселения изменяются не сразу, границы между слоями обычно выражены нечетко: один слой как бы проникает в другой. Четкость границы заставляет проверить, не возник ли один из этих слоев внезапно. Эта четкость может отразить быстрое изменение основного занятия населения.

Тема 3.

**Палеомагнитный метод в археологии.**

Магнитное поле Земли испытывает изменения во времени как по величине, так и по направлению. Все горные породы, слагающие земную кору, подвергаются действию земного магнитного поля. Некоторые из них, в основном, содержащие ферромагнитные минералы или минеральные зерна, при этом приобретают намагниченность, характерную для времени своего образования.

Палеомагнитология изучает так называемую первичную остаточную намагниченность, возникшую в ту геологическую эпоху, в которую образовывалась изучаемая горная порода. Основным геофизическим фактором в образовании остаточной намагниченности служит магнитное поле Земли. То, что Земля имеет магнитное поле, было известно уже в древности, более тысячи лет назад, китайцам, которые были знакомы с магнитной стрелкой-компасом.

Начало геомагнетизму как научной дисциплине положено значительно позже, в 1600 г., когда английский ученый Вильям Гильберт (1544-1603 гг.) Опубликовал свой трактат по геомагнетизму. Он показал, что магнитное поле Земли сходно с полем магнитного диполя, т.е. Земля представляет собой как бы гигантскую магнитную стрелку в форме шара.

По способу образования первичную остаточную намагниченность подразделяют на два типа:

* Седиментационная остаточная намагниченность;
* Термоостаточная намагниченность.

*Седиментационная остаточная намагниченность* образуется в результате выпадения мелких частиц осадочного материала на дно океанов и озер или сноса их при размыве материнских пород. Крупные частицы сохраняют ту намагниченность, которой они обладали, будучи в составе материнской породы. Попадая в водный поток, частички будут стремиться располагаться таким образом, чтобы их вектор намагниченности оказался направленным соответственно магнитного поля Земли. Степень этой ориентировки будет определяться напряженностью земного поля, величиной остаточной намагниченности частиц, их размерами и формой и, наконец, силой и характером движения водной среды.

При образовании осадка ферромагнитные частицы, сохраняя свою ориентировку, оседают вместе с немагнитными частицами. При обезвоживании осадка полученная ориентация ферромагнитных частиц закрепляется, обусловливая наличие суммарного вектора остаточной намагниченности, совпадающего по направлению с полем, действовавшим в момент оседания.

*Термоостаточная намагниченность* присуща горным породам, которые в процессе своего образования или в последующие периоды подвергались значительным нагревам, а затем при охлаждении в земном поле и приобретали термонамагниченность (лавы, интрузии).

После остывания порода может сохранять свою намагниченность очень долгое время, причем эта намагниченность будет соответствовать по направлению тому полю, которое было во время образования породы и может очень резко отличаться от направления современного поля.

Вторичная (или "вязкая") остаточная намагниченность, являющаяся в задачах палеомагнитологии помехой, по типу образования делится на индуктивную, которая образуется в горной породе под воздействием современного магнитного поля и меняется вместе с ним; и химическую, связанную с химическими процессами, происходящими в горной породе после ее образования.

Все виды вязкой остаточной намагниченности резко отличаются от первичной по направлению, но зато менее устойчивы к размагничиванию. Это позволяет снимать эти виды остаточной намагниченности с помощью магнитной чистки.

При палеомагнитных исследованиях выясняют сначала, каким из видов намагниченности обладает данная порода, стремятся выделить первичную намагниченность и по ней определить древнее геомагнитное поле.

Существуют полевые и лабораторные методы исследования, позволяющие определить первоначальное направление вектора остаточной намагниченности путем статистической обработки достаточно большого количества измерений, сделанных на отдельных образцах. По направлению горизонтальной составляющей вектора устанавливается направление магнитного меридиана, по величине наклонения вектора в месте взятия породы определяется палеомагнитная широта. Модель, используемая при проведении палеомагнитных исследований, базируется на следующих фундаментальных предположениях:

* Геомагнитное поле, осредненное за сравнительно малый в геологическом масштабе промежуток времени, является полем центрального осевого магнитного диполя, ось которого совпадает с осью вращения Земли.
* Геометрическая конфигурация магнитного поля такого диполя имеет важную для тектонических приложений особенность: наклонение геомагнитного поля определяется широтой места.
* Горные породы могут намагничиваться по направлению внешнего магнитного поля, соответствующего времени и месту образования намагниченности, и эта намагниченность может сохраняться достаточно долго.

Дно океана представляет собой гигантский «конвейер», две ленты которого перемещаются с одинаковой скоростью - от оси срединно-океанического хребта к берегам континентов. Состоят эти ленты из изверженных горных пород, которые поднимаются из глубин 3емли в осевой части хребта сначала в расплавленном состоянии. У поверхности дна океана они, соприкасаясь с морскими водами, затвердевают и начинают свое движение в сторону континентов. Расплавленные горные породы, поднимаясь вверх по каналам к трещинам в оси срединно-океанического хребта, остывают и намагничиваются в соответствии с направлением и величиной геомагнитного поля в тот момент. А литосферные плиты разъезжаются от оси срединноокеанического хребта, унося на своих «спинах» свидетельства инверсий геомагнитного поля.

Изменения магнитного поля Земли во времени называются вековыми вариациями.

Собственно палеомагнитный (или археомагнитный) метод датирования — это метод датирования горных пород и глины с помощью выявления их остаточной намагниченности. Поскольку расположение магнитных полюсов, как и интенсивность магнитного поля, постоянно меняются, то это обстоятельство и служит датировке.

Остаточная намагниченность, возникающая в горных породах, носит статистический характер. Это означает, что при ее образовании магнитный момент каждого отдельного зерна магнитного минерала не обязательно ориентируется строго в соответствии с направлением внешнего геомагнитного поля, что связано с присутствием различных дезориентирующих факторов. Магнитные частицы, являющиеся носителями остаточной намагниченности в горной породе, образуют статистические ансамбли, и, измеряя намагниченность образца, мы всегда имеем дело с некоторым средним значением по ансамблю. Направление такой суммарной намагниченности близко к направлению геомагнитного поля в момент ее образования. Осредняя направление геомагнитного поля за некоторый промежуток времени, получают среднее, так называемое палеомагнитное поле, которое подчиняется закону центрального осевого диполя, что позволяет определить широту места образования намагниченности по ее наклонению и ориентировку относительно сторон света.

Важное требование, предъявляемое при палеомагнитных исследованиях: для того, чтобы с достаточной точностью отражать направление палеомагнитного поля необходима достаточно представительная коллекция палеомагнитных ориентированных образцов.

При практическом применении метода, отобранные в полевых условиях пробы направляются в лабораторию и исследуются с помощью магнитометра.

На основе изменения магнитного поля Земли можно создать магнитную шкалу времени. Характер магнитных слоев в той или иной породе можно сопоставить, как штриховой код, с этапами чередования магнитных полюсов Земли и таким путем определить относительный возраст породы. Для отдаленных геологических эпох основой служит явление инверсии магнитных полюсов (при котором эти полюса меняются местами), так что всегда можно сказать, при каком положении магнитного поля образовалась порода — прямом (соответствующем современному) или обратном (противоположном ему). Интервалы геологического разреза, характеризуемые одинаковой полярностью, называют магнитозонами.

Для абсолютного датирования данной магнитозоны служит шкала, разработанная с помощью различных методов датирования: физических, палеонтологических, палеоботанических и т. П.

В археологии для датировки археомагнитным методом используется также керамика, а до ее появления — глина из очажных ям. Для датирования археомагнитным методом нужно знать вековые вариации магнитного поля Земли. Метод настолько чувствителен, что с его помощью иногда определяли разницу в возрасте между внутренней и внешней стенкой одной и той же печи, использовавшейся долгое время (т.е. Время, прошедшее между постройкой и последней топкой). Наиболее действенен этот метод на глубину до 70 тысяч лет.

Глины, используемые при производстве керамики, содержат малые количества железосодержащих минералов, которые восприимчивы к ориентации магнитного поля во время нагрева. Термоостаточное намагничивание этих объектов позволяет установить в них направление земного магнитного поля в день последнего разжигания огня.