

Физические (дозиметрические) методы абсолютного датирования четвертичных осадков (ТЛ, ОСЛ, ЭПР)

- Основаны на зависящем от времени накоплении радиационных нарушений в минералах. Друг от друга их отличает используемое для обнаружения радиационных нарушений физическое явление.

Термолюминесцентный метод

Многие минералы (порядка 75%) при нагревании испускают видимый свет. Это явление носит название *термолюминесценции*.

Какие же природные процессы создают условия для возникновения явления термолюминесценции?

Это - ионизирующее (или радиоактивное) излучение - α , β , γ – излучение, которые вместе с космическим излучением более сложного состава взаимодействуют с атомами минералов.

Производителями этих α , β , γ – частиц являются природные радиоизотопы из рядов урана (^{238}U , ^{235}U) и тория (^{232}Th), а также широко распространенного в природных средах радиоактивного изотопа калия – ^{40}K .

Сущность ТЛ метода

Ионизирующее излучение освобождает электроны из ионов, образующих кристаллическую решетку минерала. Эти электроны затем улавливаются атомными дефектами решетки. Эти дефекты образуются за счет примесей в основном кристалле породы. Например, Ca^{2+} замещается в каком-то узле решетки на Mg^{2+} или Si^{4+} на Al^{3+} . В отличие от правильно занятых позиций решетки атомные дефекты обычно характеризуются дефицитами (+) или (-) заряда. Большая часть оставшихся электронов аннигилирует с пустотами (дырами), имеющими положительный заряд и находящихся в не нарушенных узлах кристаллической решетки. Малая часть электронов остается в ловушках (или дефектах кристаллической решетки) до тех пор, пока сообщенная им извне тепловая энергия не освободит их и не вернет в исходное состояние, т.е. не произойдет аннигиляции – электрон + дыра. Этот переход сопровождается излучением света в видимой, а иногда в ультрафиолетовой области спектра. Повторное прогревание уже не вызовет люминесценции.

В результате многочисленных исследований было установлено, что **интенсивность термолюминесценции (светосумма, светопоток)** увеличивается с возрастом пород и зависит от их радиоактивности (как самих минералов, так и вмещающих отложений). Таким образом, явление ТЛ оказалось возможным использовать для определения времени существования какого-либо слоя в отложениях (или возраста раковины моллюска, например) или для исследования термической истории пород (застывание магмы со стертой в результате разогрева запасенной дозы). Возраст образца может быть определен по формуле:

$$\text{возраст} = \frac{\text{аккумулированная (запасенная) доза (рад)}}{\text{скорость запасаения дозы (рад/год)}}$$

- **Рад — внесистемная единица дозы излучения, поглощенной веществом.**
- **1 рад = доза радиации на 1 кг массы тела, эквивалентная энергии в 0.01 джоуля.**

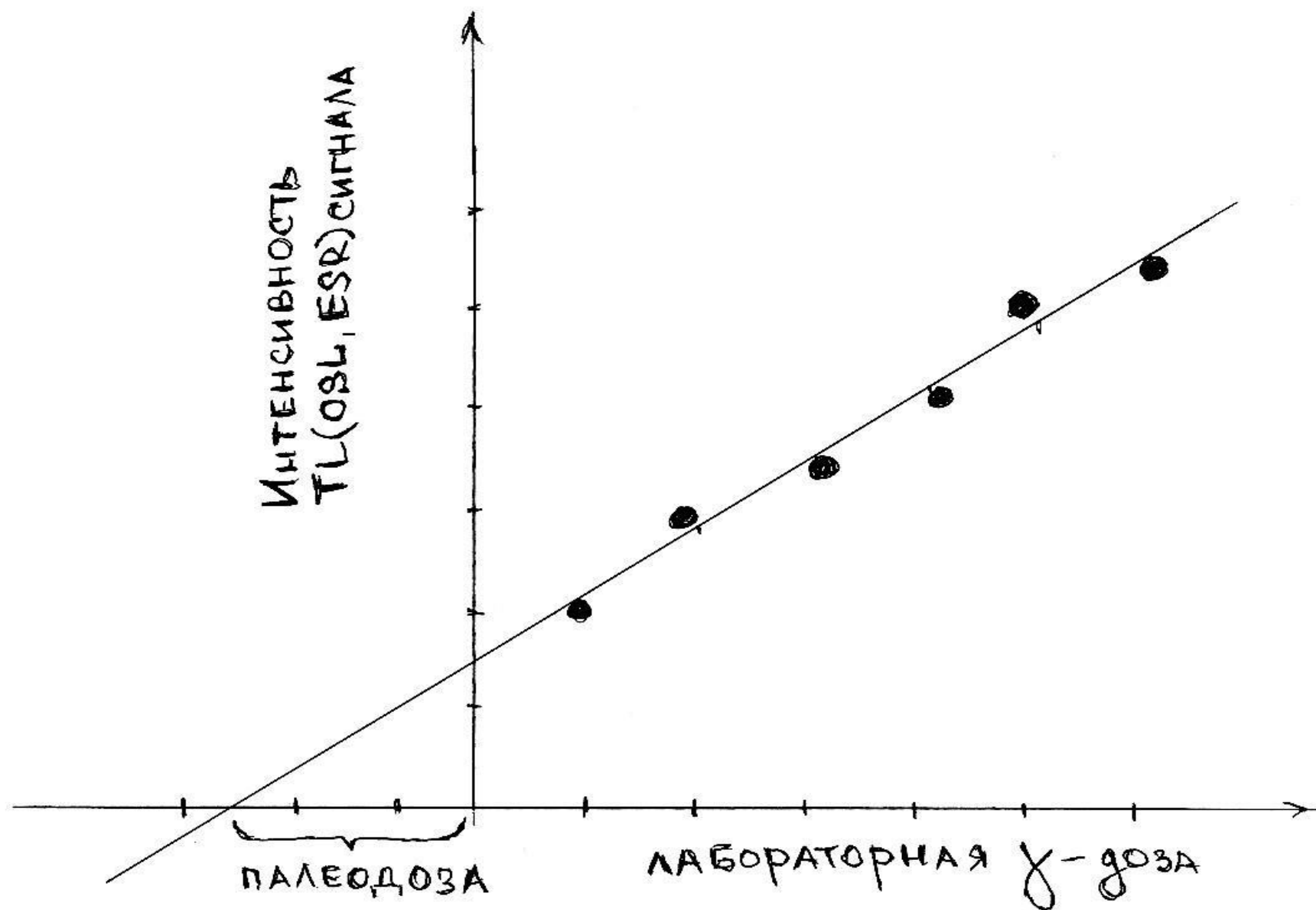
Предполагается, что гипергенные процессы (кристаллизация магмы), воздействия ультрафиолетового облучения или температуры приводит к стиранию так называемой **прогенетической светосуммы** минерала (например, при эоловом переносе, осаждении частиц взвеси на дно). Этот процесс определяет так наз. **«нуль-момент»**, время, от которого начинается летоисчисление. С этого момента минералы будут снова действовать как природные микродозиметры, в которых со временем будет накапливаться определенная **светосумма**.

Методика

Чтобы определить абсолютный возраст образца, необходимо знать характер зависимости интенсивности его термолюминесценции (или запасенной светосуммы) от дозы облучения. Для этого образец делится на 2 части. Одна проба подвергается нагреву для определения запасенной светосуммы, а другая (со стертой таким же образом запасенной дозой) последовательно подвергается действию различных доз, например, гамма-излучения (60-Со пушка). После каждого облучения измеряют интенсивность термолюминесценции (светосумму) и в результате получают калибровочную кривую. С ее помощью определяют значение дозы радиации, которую получил образец за время своего существования (сопоставив полученную в первой пробе светосумму с калибровочной кривой). Есть еще метод «добавочных доз» (рис. ниже).

Прибор для измерения ТЛ - состоит из электропечи для нагрева образца (от 20 до 500 град С), фотоумножителя, с помощью которого средствами электроники испускаемый световой сигнал усиливается и регистрируется как функция температуры нагрева, и самописца (или компьютера).

Световое излучение образца в области длин волн 400-500 нм регистрируется фотоэлектронным умножителем типа ФЭУ-93. Ток ФЭУ с выхода линейного усилителя типа УС-50а поступает на вход платы интерфейса, установленной в корпусе персонального компьютера.



Общие для ТЛ, ОСЛ и ЭПР методов предпосылки определения возраста различных формаций:

- в начальный момент времени ($t=0$) формирования отложений (в процессе седиментации, роста кристаллов, затвердевания расплавов и т.д.) предыдущая (*прогенетическая*) палеодоза должна быть обнулена (фактически ликвидирована) экспонированием на свету или нагреванием.
- в постседиментационное время отложения должны находиться в погребенном состоянии, не подвергаться нагреванию, большому давлению, обводнению и другим вторичным воздействиям.
- скорость накопления дозы в единицу времени (*годовая доза, мощность палеодозы*) должна быть постоянна в пределах возрастных возможностей метода

Определение годовой дозы (скорости запасания дозы)

- При определении годовой дозы учитывается концентрация радиоактивных изотопов в образце и вмещающих его отложениях – суммарная доза (внутренняя и внешняя) в месте отбора проб.
- Эта процедура производится в полевых условиях с помощью бета- и гамма-дозиметров, а также в лабораториях, где определяются концентрации (активности) основных дозообразующих изотопов – ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{235}U , ^{231}Pa из рядов урана и тория, а также уровень β -активности ^{40}K .
- При этом считается, что доза облучения не менялась во времени с момента образования образца (раковины или какого-либо минерала). Это положение предполагает, что в рядах урана и тория отсутствовало нарушение радиоактивного равновесия, а содержание ^{40}K не менялось.

Выполнимость предпосылок TL метода вызывает серьезные сомнения:

■ **Наличие равновесия в природных радиоактивных рядах.**

О нарушениях в равновесных рядах известно давно, они наблюдаются в большинстве объектах окружающей среды.

Примеры подобного нарушения:

- эманация радона из пород,
- миграция урана и радия,
- накопление (как, например, в раковинах) и распад тория-230 (^{230}Th) и 231-протактиния (^{231}Pa) (в морских, озерных осадках) и т.д.

■ **Прогенетическая доза и «нуль-момент».**

Кроме того, вопрос о прогенетической дозе и ее стирании к «нуль-моменту» не всегда выполняется для многих пород и минералов. Если в процессе осаждения частицы на океаническое дно время для ее ультрафиолетового облучения может быть вполне достаточно для стирания запасенной дозы, то на континенте этого времени при, например, речном или эрозионном переносе, явно недостаточно. В этом случае датировки будут искажены.

■ **Фединг.**

На частичное *стирание (фединг)* определяемой запасенной дозы влияет также увеличивающееся давления, изменяющиеся термические условия, возможное периодическое солнечное облучение в отлагающихся материалах, их обводнение и т.д..

Материалы, пригодные для TL датирования:

- Для датирования этим методом сейчас широко используются кальцитовые раковины моллюсков, у которых «нуль-момент» фиксируется со времени начала кристаллизации самой раковины, сталактиты, сталагмиты.
- В целом, для датирования используются: кварц, полевой шпат, циркон – в составе вулканических пород (лавы, пеплы), а также каменная соль, карбонаты кальция и магния, на континенте - эоловые и лессовые отложения, дюнные пески (содержащие тот же кварц, полевой шпат, стекло).
- В океанских условиях весьма перспективным выглядит датирование морен, поскольку влияние ультрафиолетового излучения на стирание запасенной дозы незначительно (перекрывание осадочной толщей и столбом воды).
- В археологии – керамика, обожженная глина, кремни, камни

Временные рамки TL метода (теоретически) –

от тысяч лет до 1 миллиона лет.

Реальные пределы TL метода -

от тысяч лет до 100 – 200 тыс. лет.

Метод оптико-стимулированной люминесценции – ОСЛ (OSL)

Два явления люминесценции – ТЛ и ОСЛ – различаются типом возбуждения (электронов в ловушках):

- Тепловое возбуждение вызывается нагревом (для ТЛ-метода);
- Оптическое возбуждения вызывается воздействием света (для ОСЛ)

В результате такого воздействия электроны рекомбинируют с дырочными центрами (центрами люминесценции) с испусканием соответствующего люминесцентного излучения.

ОСЛ

В отличие от ТЛ, электроны удаляются из ловушек не термически, а оптически.

В соответствии с используемой спектральной областью светового возбуждения говорят о различных ОСЛ-методах:

- ИКСЛ – с инфракрасным возбуждением
- ЗСЛ – с зеленым возбуждением

По аналогии с ТЛ, сигнал ОСЛ используют для оценки естественной дозы, полученной минералом за время, прошедшее с момента его формирования или последней переустановки хронометрической системы.

Начало ОСЛ датирования – 1985 г.

По сравнению с ТЛ этот метод имеет преимущества:

- **ОСЛ метод основан на существовании легко отбеливаемых (стираемых) электронных ловушек, которые освобождаются уже после нескольких минут экспонирования при дневном свете.**

Т. е., оптическая чувствительность ОСЛ метода необычайно высока.

Пример: под влиянием солнечного света ОСЛ сигнал кварца стирается до 1% от его начального значения за 10 секунд, полевого шпата – за 9 минут.

- **Почти полная оптическая переустановка сигнала ОСЛ, т.е. в отличие от ТЛ не остается неотбеленных (нестертых) остаточных сигналов;**
- **при ТЛ методе изменение t^0 во времени приводит к стиранию дозы и омоложению возраста, тогда как при ОСЛ - освещение исследуемого образца практически исключается его захоронением, и сигнал сохраняется;**
- **ОСЛ метод позволяет датировать более молодые образцы (порядка сотен лет), чем при ТЛ датировании**

В случае ОСЛ ужесточаются требования к отбору образцов.

ния требуется разделение пробы на части. Обычно подготавливается около 50 частей пробы по 1–4 мг каждая. Индивидуальные части пробы (субпробы) помещают на алюминиевые или стальные диски. Подготовка проб к исследованию трудоемка и требует много времени.



Рис. 94. Отбор пробы лёссовых отложений с помощью стального цилиндра. Такая методика отбора защищает образец от экранирования на свету.

Измерительный прибор состоит, по существу, из тарелки, на которой образец нагревают, и фотоумножителя, с помощью которого средствами электроники испускаемый световой сигнал усиливается и регистрируется как функция температуры нагрева. После каждого измерения нагревание повторяется, чтобы зарегистрировать и вычесть фон (рис. 91). Для предотвращения нежелательной хемилюминесценции, которая энергетически подпитывается от экзотермических химических реакций, важно проводить ТЛ-измерения в атмосфере очень чистого азота или аргона. Оптические фильтры, которые можно установить между образцом и фотоумножителем, позволяют проводить регистрацию определенных спектральных областей. Автоматизированные и оснащенные компьютерами современные ТЛ-приборы позволяют пол-

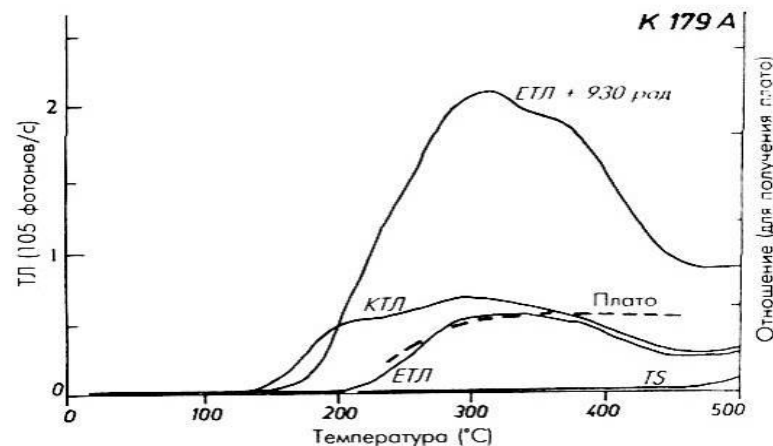


Рис. 91. Кривая ТЛ-свечения тонкозернистой фракции средневекового керамического объекта. График интенсивности ТЛ как функции температуры нагрева (*ЕТЛ*: ТЛ после естественной дозы; *КТЛ*: ТЛ после переустановки ЕТЛ и получения искусственной дозы; *ЕТЛ + 930 рад*: ТЛ после дополнительного облучения образца 9,3 Гр β -излучения; *кривая плато*, служащая для проверки стабильности, представляет собой отношение (*ЕТЛ + 930 рад* – *ЕТЛ*) / *ЕТЛ*; *ТС*: фон).

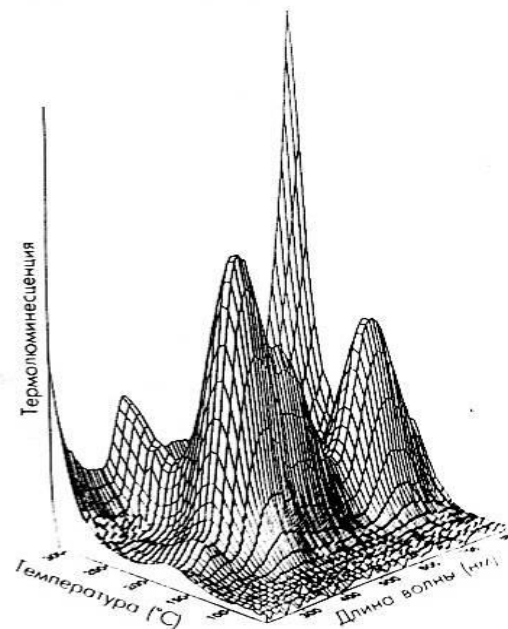


Рис. 92. Трехмерный ТЛ-спектр микроклина из Питкайна (Pitcairne), штат Нью-Йорк, облученного β -дозой 2200 Гр, полученный с помощью ПЗС-камеры после 4-месячной выдержки при 23°C (Krbetschek et al., 1996).

Примеры применения ТЛ и ОСЛ датирования

Дискуссионным вопросом является верхний предел возраста, достижимый с помощью ТЛ датирования. В некоторых работах приводятся возрастные данные вплоть до 800 тыс. лет назад (Лазаренко и др., 1977; Berger et al., 1993). Однако большинство исследователей придерживаются мнения, что ТЛ метод имеет относительно низкую верхнюю границу **100-200 тыс. лет** (Пуннинг и др., 1992; Geyh, 2001; Schwarcz, 2002).

Последние цифры, по-видимому, более реальные, поскольку ограничения метода, изложенные выше, достаточно существенные, и вероятность их выполнимости снижается с увеличением возраста материала. Даже в этих пределах имеются разногласия в возрастных ТЛ данных.

1). Например, результаты межлабораторного контроля ТЛ датирования лессовых отложений из опорного разреза Чарвак (Узбекистан), формировавшихся в среднем и позднем плейстоцене, показали, что для каждого из горизонтов различия их возрастов, полученных в разных лабораториях, варьировали **от 20 до 100%** (Пуннинг и др., 1992). Так, для образца одного из горизонтов получено 4 даты: **52.4±4, 41±6, 118±9, 71±16 т.л.**

Вероятно, это связано с применением нестандартизированных методик, хотя разброс все-таки существенный.

Тем не менее, метод совершенствуется, и с его помощью пытаются решать некоторые вопросы хроностратиграфии континентальных отложений.

2). В Литве ТЛ методом датированы мелкозернистые пески аквального происхождения (Gaigalas et al., 2002, 2005). Относимые ранее либо к бутенайскому (гольштейнскому, лихвинскому), либо к мяркинскому (эемскому, микулинскому) межледниковью пески из обнажения Вилькишес получили ТЛ датировки

 **253.0±38, 280.6±42, >270, 182.3±28, 184.9±28, 188.4±28.3 тыс. лет .**

Если древние датировки (250 и более тыс. лет) не позволяют сделать однозначных выводов, то приведенные выше относительно молодые даты (порядка 180 тыс. лет) дают возможность предположить возраст снайгупельского (дренте-варта, одинцовского) межледниковья, коррелирующего с 7-ой изотопно-кислородной стадией.

3). ТЛ даты озерных песков из разреза Нятесос, отлагавшихся во время мяркинского (эемского, микулинского) межледниковья, с учетом погрешностей, образуют возрастной интервал **от 154 до 90 тыс. лет назад (5-я и 6-я изотопно-кисл. ст.).**

4). В Западной Сибири по глинам субэральных серий, вмещающих казанцевские палеопочвы и гумусированные суглинки, получены ТЛ датировки в **140±14, 130±10, 130±31, 130±27, 130±25 тысяч лет.**

Эти данные с большими погрешностями и инверсиями лишь косвенно говорят о возрасте казанцевского межледниковья (5-я из-кисл ст.).

5). Основные успехи ОСЛ метода в хроностратиграфических построениях связаны с датированием аллювиальных и флювиогляциальных отложений.

По морским трансгрессивным отложениям Европейской Арктики и Западной Сибири получен ряд датировок от 140 до 70 тыс. лет, сопоставимых с возрастом 5-ой изотопно-кислородной стадии (Svendsen et al., 2004; Астахов и др., 2005). Датированы также озерно-ледниковые, флювиогляциальные осадки в широком диапазоне возраста от 100 до 60 тыс. лет. На основании этого, а также и других исследований, построены модели наступления и отступления позднеплейстоценового ледникового покрова (Svendsen et al., 2004).

6). Однако следует отметить, что в одних и тех же разрезах получены инверсионные ОСЛ даты (Астахов и др., 2005; Астахов, Мангеруд, 2007), что может свидетельствовать об их недостаточной надежности. Зачастую наблюдается разброс значений ОСЛ возраста (до 20%) для одних тех же датированных слоев. Подобные факты наблюдались, например, при ОСЛ датировании позднеплейстоценовых песков и суглинков в Литве (Gaigalas and Hutt., 1995).

Все это объясняется тем, что основные неопределенности ОСЛ метода, связанные с неполным обнулением светосуммы (прогенетической светосуммы, дозы), временными изменениями влажности отложений, миграцией радионуклидов, нестабильностью сигнала, являются причиной подобных расхождений и ошибок.

Так, например, ОСЛ возрасты аллювиальных и флювиогляциальных отложений террас приполярного Енисея рассчитывались в предположении водонасыщенности песков в течение всего времени после их отложения, однако если низкую влажность момента опробования экстраполировать на все постседиментационное время, то значения датировок снизятся на 15% (Астахов, Мангеруд, 2007). Поэтому авторы исследования рекомендуют принимать к рассмотрению не величину возраста отдельно взятого образца, а только серии ОСЛ датировок, при этом их надежность должна контролироваться устойчивостью значений внутри каждой серии и коррелировать с данными других геохронометрических методов.

Метод электронного парамагнитного (спинового) резонанса –ЭПР (ESR)

■ Сущность метода.

Основу данного метода составляет возможность с помощью ЭПР спектроскопии различать и количественно определять накопленные в минералах радиационно-индуцированные зарядные дефекты. ЭПР датирование, как метод начал применяться в 80-х годах (Hennig, Grun, 1983). Он близок к рассмотренным выше люминесцентным методам и отличается от таковых физическим методом регистрации палеодозы

 Воздействие естественной радиоактивности сопровождается возникновением зарядной плотности в дефектах (центрах) кристаллической решетки. В этих центрах могут находиться неспаренные электроны. В этом случае центры называются **парамагнитными**. Их концентрацию, являющуюся мерой палеодозы, измеряют следующим образом. Образец помещается в искусственное магнитное поле, к которому перпендикулярно прилагается микроволновое излучение. Тогда возникает электронный парамагнитный (спиновый) резонанс. В результате этого явления направление вращения (спин) неспаренного электрона меняется на противоположное и происходит поглощение энергии от микроволнового излучения. Изменяя напряженность магнитного поля (или частоту микроволнового излучения) строят ЭПР спектр, регистрирующий интенсивность микроволнового поглощения, с частотами характерными для специфических центров различных природных структур. Из интенсивности регистрируемого ЭПР сигнала, применяя методику добавочных доз (как и для ТЛ, ОСЛ методов), определяют палеодозу.

■ В отличие от люминесцентного датирования, ЭПР метод имеет важное **преимущество**, связанное с тем, что концентрация исследуемых центров не изменяется во время измерений. Это позволяет строить зависимость интенсивности сигнала ЭПР от величины дозы облучения (кривую роста в методике добавочных доз) на одной и той же аликвоте образца.

■ **Основными объектами ЭПР метода являются:**

известковые пещерные натёки, травертиновые отложения, раковины моллюсков (включая фораминиферы), кораллы, зубы, кости, океанские и кластические осадки (по кварцу, полевоому шпату).

Дополнительная информация по ЭПР-ЭСР-датированию

- Электрон является заряженной частицей и при вращении вокруг своей оси (спиновом движении) у него возникает магнитное поле. Иными словами, электрон благодаря вращению вокруг своей оси становится элементарным магнитом, свойства которого позволяют впоследствии учитывать электроны, попавшие в ловушки минерала-дозиметра. Поэтому используется корень “спин” в термине и аббревиатуре ЭСР, которые превалируют в зарубежной литературе.
- Второе название метода – ЭПР - связано с парамагнитными свойствами минералов-дозиметров. Напомним, что парамагнетизм, как свойство вещества намагничиваться во внешнем магнитном поле, обусловлено наличием у вещества-парамагнетика магнитных моментов (физического параметра, характеризующего магнитные свойства вещества). Карбонаты и силикаты, обычно используемые в ЭПР–ЭСР-датировании, не являются магнитами, но под воздействием радиоактивного облучения они могут накапливать некоторый потенциал магнитных свойств за счет появления в кристаллах возбужденных электронов.

Дополнительная информация по ЭПР-ЭСР-датированию

- Так, в кристаллической решетке **карбонатов** электроны, как правило, образуют пары, и тогда их магнитные моменты компенсируют друг друга. Но когда в минералах при поглощении ими части энергии фонового радиационного поля появляются возбужденные электроны, эти отрицательно заряженные частицы, будучи свободными, неспаренными, после блуждания по кристаллической решетке могут быть захвачены ловушками, в которых тогда образуются парамагнитные центры. Ведь каждая из ловушек захватывает только по одному электрону, и такой неспаренный электрон создает свой магнитный момент.

В **силикатах** процесс протекает несколько по-иному. Однако и в них поддающиеся счету парамагнитные центры также формируются при захвате ловушками свободных электронов. Так или иначе, число парамагнитных центров в кристалле указанных минералов-дозиметров будет являться в данном случае функцией времени их радиоактивного облучения. Следовательно, вопрос использования этого фактора при проведении дозиметрического датирования может быть решен посредством нахождения способа подсчета таких центров в исследуемом, выбранном в качестве таймера минерале-дозиметре.

Применение данной технологии, которая в большей степени характерна для спектроскопии минералов, в качестве способа датирования, показало, что лучше всего она работает для карбонатов. В случае новообразованных органогенных пород это будет, например, карбонат в зарождающихся раковинах моллюсков, зубной эмали и костях живых существ и т. д.

В случае новообразованных неорганических образований пригодны вновь возникшие пещерные формы, например известковые сталактиты и сталагмиты. А в случае переустановленных на нуль пород это карбонат в артефактах из прошедшей обжиг керамики или в измельченных отложениях, исходно перевеянных или перемытых на солнце, например в песке из ракушечника.

Некоторый позитивный опыт накопился уже при ЭПР-ЭСР-датировании по **кварцу** содержащих его новообразованных вулканических пород. В последние годы их использование осуществляется, в частности, и в России [Богатиков и др., 2002; Шабалин, 2002; Вяткин, 2007]. Однако в целом набор пород, которые можно было бы датировать посредством применения ЭПР-ЭСР-технологии, все-таки очень ограничен.

Измерения ЭПР (ЭСР) сигнала

Измерения проводятся на ЭСР-спектрометре, состоящем из стабилизированного магнита, создающего однородное поле в месте расположения пробы, микроволнового устройства (мостика) и анализатора электрического сигнала.

Образец массой в несколько сотен миллиграммов помещают в магнитное поле. Постепенно изменяя напряженность магнитного поля при фиксированной частоте излучения, добиваются резонанса от различных центров ЭСР. Во время изменения магнитного поля измеряют поглощение СВЧ-излучения.

Недостатки ЭПР метода:

- значительные трудности измерения концентрации дефектов, связанные с большим числом физических факторов, влияющих на значение выходного сигнала поглощения ЭПР. В общем случае таких факторов – более 10;
- большая неопределенность в выборе аналитической линии в ЭПР спектрах исследуемых объектов (нарисовать спектр);
- наличие примесей в структуре кальцита (например, марганца-2+) маскирует радиационно-индуцированный сигнал линиями, принадлежащими самой примеси;
- проблема **фединга** (ослабления) палеодозы. Фединг ограничивает время жизни радиационных дефектов, способность минерала сохранять в себе возрастную информацию и, в конечном счете, может явиться причиной существенного омоложения геологического объекта при его датировании методом ЭПР-спектроскопии.
Фединг возможен при: нагревании, экспонировании на свету, тектонические сдвиговые движения (давление), обводнение и т.д.
- неопределенность математической функции, описывающей рост сигнала ЭПР с дозой облучения, при расчете естественной дозы (палеодозы).

Таким образом, использование физических методов датирования отложений должно обязательно сопровождаться параллельными исследованиями с применением других методов абс. и относит. геохронологии.

Пределы датирования – от сотен и тысяч лет до миллиона лет.

зед облучают дополнительными дозами, затем измеряют соответствующие сигналы ЭСР и строят кривую роста (рис. 80). В отличие от ТЛ, ЭСР имеет преимущество, заключающееся в том, что концентрация исследованных центров не нарушается, что позволяет, таким образом, воссоздать кривую роста на той же самой аликвоте. Большинство образцов показывает экспоненциальное насыщение со сложными математическими зависимостями (Grün, 1991). В любом случае, следует пытаться использовать только радиационно-индуцированные ЭСР-центры образца с оптимальными характеристиками роста. Проблема образования центров ЭСР, зависящего от дозы облучения, требует систематических исследований на конкретном материале и представляет главный источник ошибок определения возраста.

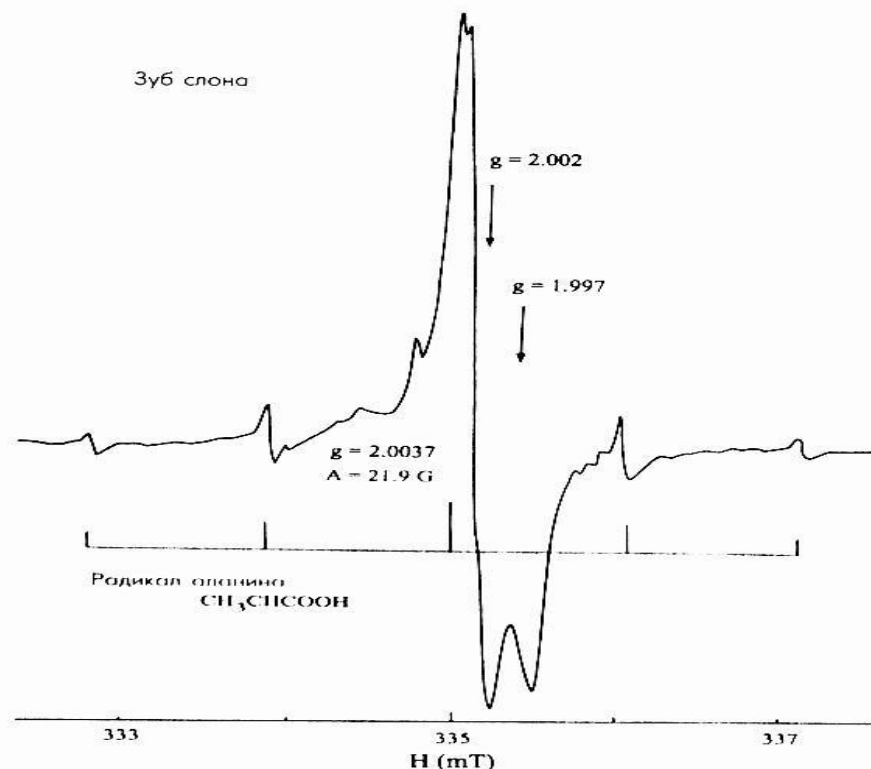


Рис. 112. ЭСР спектр дентина зуба ископаемого слона из Штайнхайма, Мюрра, Германия. Индивидуальные центры ЭСР с их характерными g -факторами испытывают резонанс при изменении напряженности магнитного поля H (Ikea, 1981).

Примеры применения ЭПР метода

- Возрастной интервал, в котором пригодно применение ЭПР датирования, зависит от типа изучаемых осадков, методологических и методических особенностей метода. Его использование в практическом плане, варьирует *в среднем от 10 до 500-600 тыс. лет* (Molodkov, 2001; Вагнер, 2006).
- Наиболее интересным объектом ЭПР метода являются *раковины моллюсков*, которые встречаются в морских и континентальных отложениях и имеют большое хроно- и биостратиграфическое значение.

1. Значительное количество датировок было получено по раковинам из морских отложений *Северной Евразии* (Болиховская, Молодьков, 1999).

По ЭПР данным выделен возрастной интервал формирования морских трансгрессивных отложений *от 140 до 70 тыс. лет назад*. На основе сопоставлений этих возрастных данных с результатами палинологического изучения опорных разрезов лессово-почвенной формации Восточно-Европейской равнины сделано предположение о таком же возрасте и длительности (последнего) межледникового периода, сопоставимого *со всей изотопной стадией 5*.

2. Морские отложения в *низовьях Енисея*, включающие ассоциации фораминифер с преобладанием тепловодных и бореальных видов, получили ЭПР даты - *134.8 - 121.9 тыс. лет* (Архипов, 1997). Этот период был связан с *максимумом казанцевской трансгрессии – подстадия 5e – последнее межледниковье*.

3. Проведено ЭПР датирование раковин пресноводных моллюсков из межледниковых озерных гиттий на территории *Литвы* (Gaigalas, Molodkov, 2002). ЭПР возраст мяркинских (аналоги микулинских, земских) отложений из трех разрезов охарактеризован 9 датами *от 148 до 88 тыс. лет*. Несмотря на значительное различие датировок с одних и тех же глубин, *достигающее 30% и более*, возрастной интервал формирования межледниковых отложений в целом коррелирует *со всей 5-ой морской изотопно-кислородной стадией*.

Однако далеко не всегда возрастные ЭПР данные по раковинам моллюсков позволяют делать однозначные хроностратиграфические выводы.

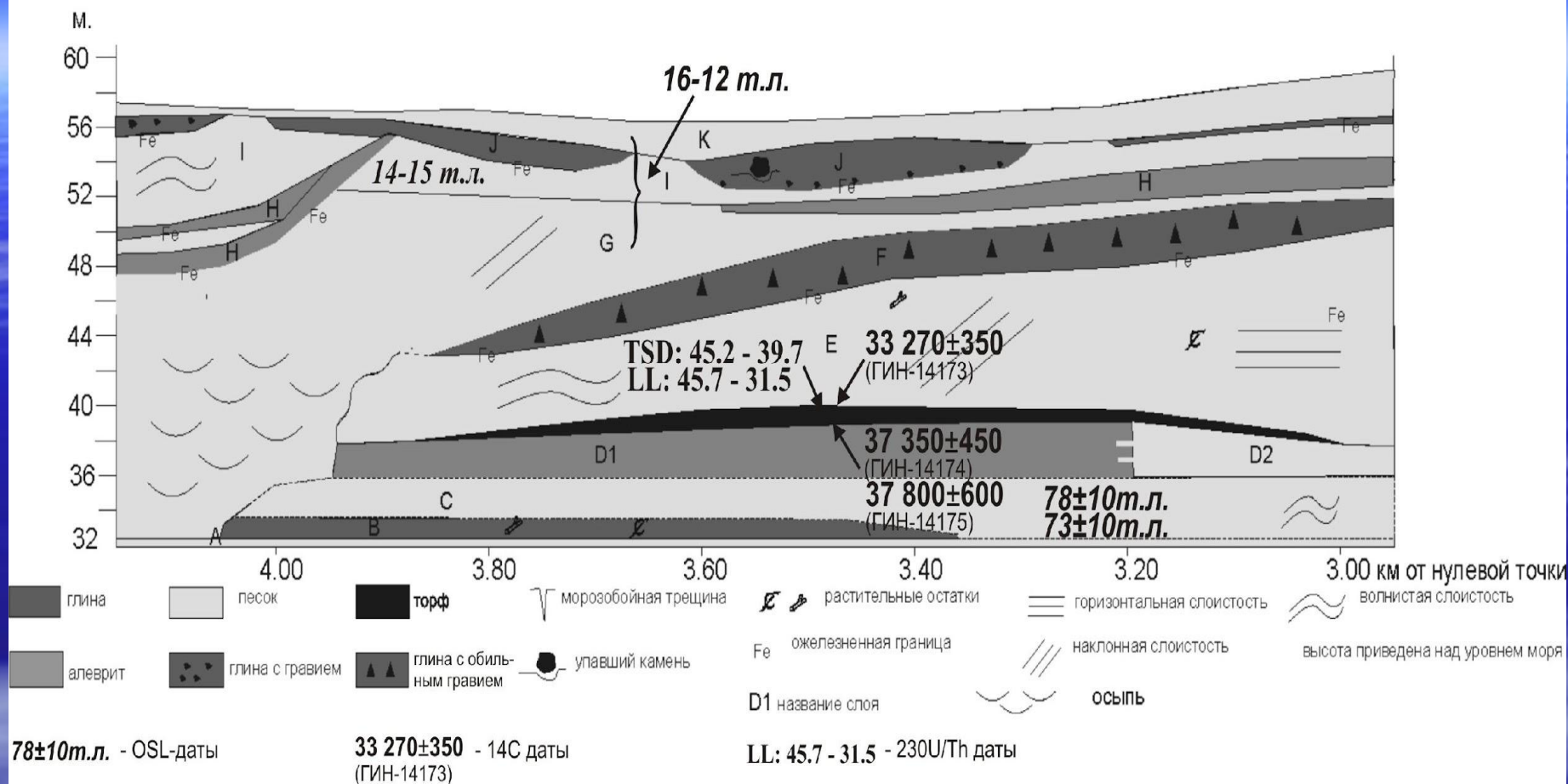
4. Датирование *бутенайского* (аналога *лихвинского, гольштейнского*) межледниковья дало значительный разброс данных с учетом погрешности - *от 495 до 300 тыс. лет*, что сопоставимо с интервалом *между 11-ой и 9-ой морскими стадиями* (Gaigalas, Molodkov, 2002).
5. Нечто подобное наблюдалось при ЭПР датировании гольштейнских отложений в Германии. В 1985 году был получен возраст, коррелирующий *с 7-ой изотопной стадией*, затем в 1986 году *с 11-ой* (Linke et al., 1985; Sarnthein, 1986).
6. ЭПР данные для отложений *снайгупельского* межледниковья в Литве (предполагаемые аналоги – *одинцовское* на Русской равнине, *дренте-варта* – в Европе, 7-я изотопная стадия) варьируют *от 127 до 100 тыс. лет*, что соответствует возрасту *мяркинских* отложений – *5-я стадия* (Gaigalas, Molodkov, 2002). Такой результат заставляет сомневаться в существовании *снайгупельского межледниковья (предположительно коррелируемого с 7-ой морской стадией)* и считать отложения разреза Валакампей *мяркинскими*. С другой стороны, палинологические данные указывают на более ранний возраст.

Все это требует дальнейшего геохронометрического изучения отложений, отнесенных по биостратиграфии к *снайгупельскому* среднеледниковому Межледниковью (7-ая изотопно-кислородная стадия).

Заканчивая небольшой обзор ЭПР данных по раковинам моллюсков из морских и озерных отложений, следует признать, что, все-таки, надежность датировок (особенно это касается раковин пресноводных моллюсков) пока что не всегда достаточна для установления детальной хроностратиграфии межледниковых отложений.

Причины, объясняющие это, кроются, скорее всего, в невыполнении в полной мере многочисленных условий, необходимых для проведения датирования.

Аналогичный вывод в той или иной степени можно отнести и к люминесцентному датированию. Получение точных количественных оценок сложных физических и химических явлений, происходящих в природных объектах в течение тысячелетий и влияющих на выполнимость теоретических положений, составляющих сущность этих методов, представляется задачей, которая требует дальнейших фундаментальных исследований.



Стратиграфия и хронология разреза Толоконка

(высота – над уровнем моря, расстояние – от нулевой, юго-восточной, точки).

1 – глина, 2 – алеврит, 3 – песок, 4 – глина с гравием, 5 – торф, 6 – глина с обильным гравием, 7 – морозобойная трещина, 8 – упавший камень, 9 – растительные остатки, 10 – ожелезненная граница, 11–13 – слоистость: 11 – горизонтальная, 12 – наклонная, 13 – волнистая, 14 – осыпь,

15–17 – возраст, определенный методами:

15 – ОСЛ (тыс. лет), 16 – 14С (лет), 17 – 230Th/U (тыс. лет). А–К – обозначения слоев.