

# **РАДИОУГЛЕРОДНЫЙ ВОЗРАСТ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ПРОБЛЕМА ИНТЕРПРЕТАЦИИ.**

**Чичагова О.А., Зазовская Э.П.**

# Содержание:

## Радиоуглеродное датирование органического вещества (ОВ) почв.

- *Динамика и возраст фракций гумуса*
- *Выбор "датирующей" фракции и поиск "инертного" углерода*
- *Определение продолжительности периода гумусообразования*
- *Определение коэффициента обновления ОВ современных почв*
- *Определение индекса омоложения ОВ голоценовых палеопочв.*
- *Оценка потоков углерода в почвах различных эпох голоцена и их динамика в связи с изменением климата.*

## Радиоуглеродный возраст почв и проблема интерпретации радиоуглеродных данных.

- *Определение календарного возраста и калибровка радиоуглеродных данных*
- *Роль факторов почвообразования в определении радиоуглеродного возраста почв.*
- *Интерпретация почвенных радиоуглеродных данных.*
- *Радиоуглеродный возраст ОВ ископаемых почв и реликтовых гумусовых горизонтов; хронология и реконструкция палеосреды.*

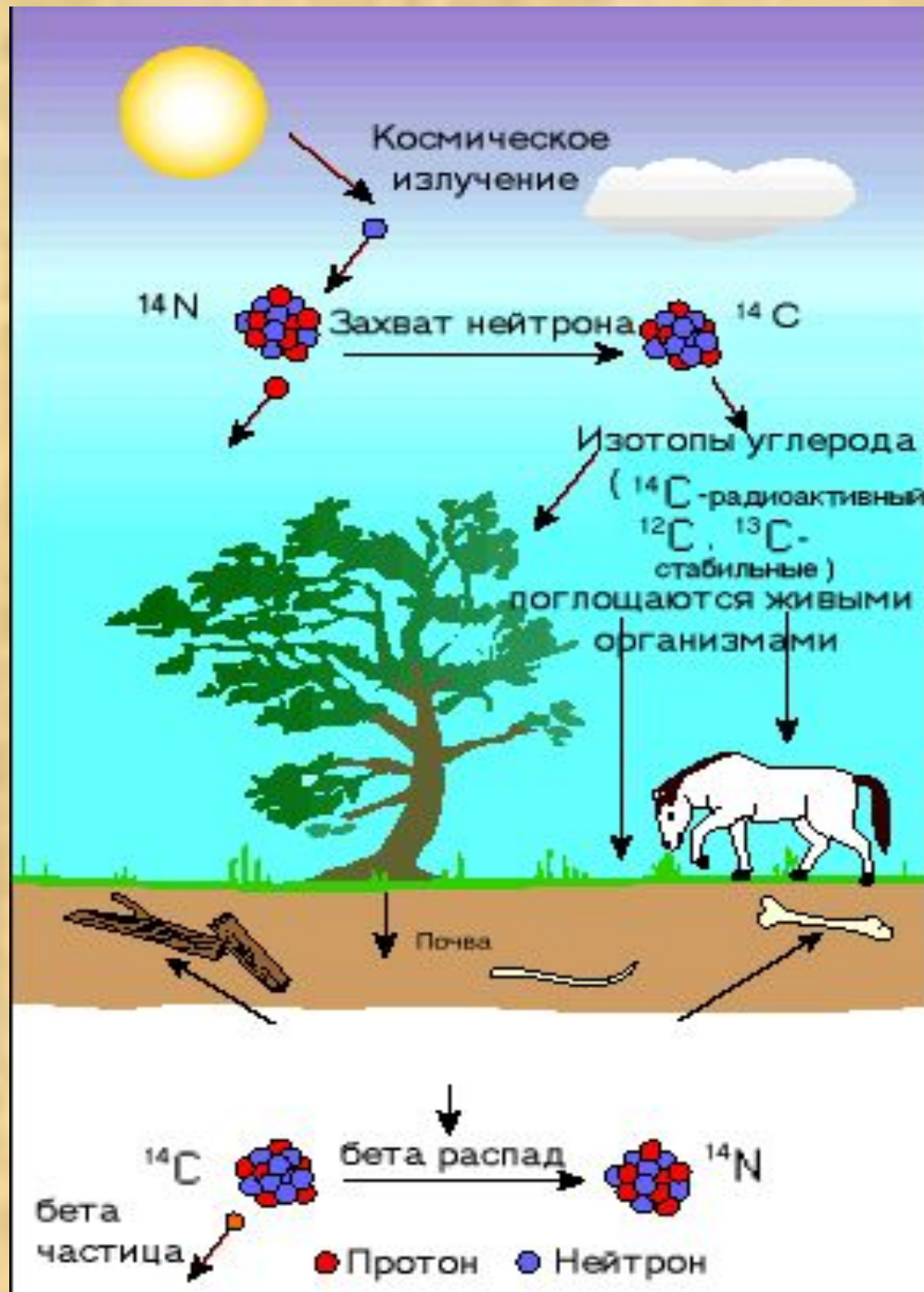
Основа метода



$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{N_{\text{стандарта}}}{N_{\text{образца}}}$$

Период полураспада

$^{14}\text{C}$  5730±40



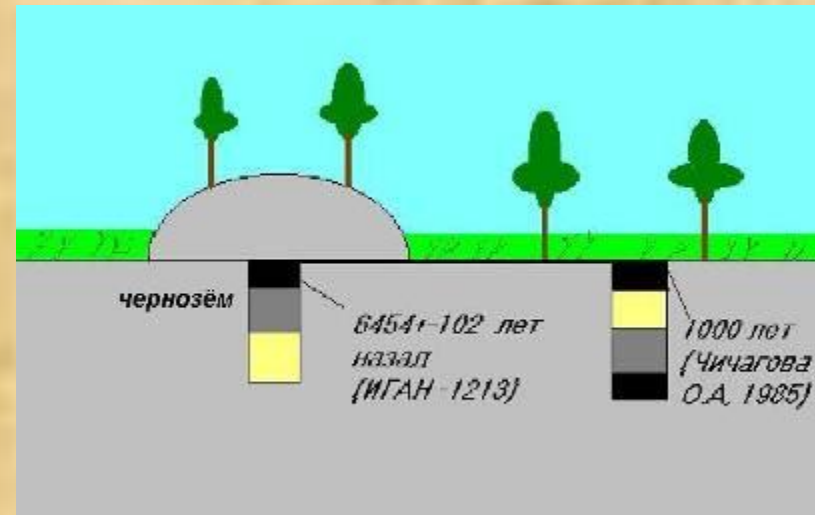
# Радиоуглеродное датирование органического вещества (ОВ) современных и ископаемых почв

## «Открытая» система



1. Органическое вещество (ОВ) почв состоит из разных по строению и генезису фракций
2. ОВ подвержено диагенетическим преобразованиям, связанным со временем и условиями погребения.
3. Возможно накопление ОВ в результате эолового переноса, эрозии, дефляции и пр. природных процессов.

## «Открыто-закрытая» система



**Выбор "датирующей" фракции и поиск  
"инертного" углерода**

**Радиоуглеродный возраст Курского чернозема по ОВ и ГК  
(О.А.Чичагова, А.Е. Черкинский)**

| <b>Почва</b>               | <b>Глубина<br/>см</b> | <b>По общему<br/>ОВ</b> | <b>По ГК</b>   |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|
| <b>Чернозем<br/>мощный</b> | <b>0-10</b>           | <b>современный</b>      | <b>1000±40</b> |
|                            | <b>50-60</b>          | <b>2890±100</b>         | <b>4050±60</b> |

**Радиоуглеродный возраст ископаемой почвы по ОВ,  
ГК и древесному углю (О.А.Чичагова, 1985)**

| <b>Уголь</b>      | <b>ГК</b>         | <b>ОВ</b>        |
|-------------------|-------------------|------------------|
| <b>30620±1200</b> | <b>32050±1000</b> | <b>19730±600</b> |

**Радиоуглеродный возраст фракций гумуса черноземных и  
подзолистых почв Канады (Paul et al.)**

| <b>Фракция гумуса</b>            | <b>Чернозем</b> | <b>Чернозем</b> | <b>Подзол</b>   |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Нефракционированная почва</b> | <b>990 ± 60</b> | <b>870±50</b>   | <b>250±60</b>   |
| <b>Без подвижных ГК</b>          | <b>Не опр.</b>  | <b>1135±50</b>  | <b>335±50</b>   |
| <b>Подвижные ГК</b>              | <b>875±57</b>   | <b>785±50</b>   | <b>85 ± 45</b>  |
| <b>ГК, связанные с Са</b>        | <b>1308 ±64</b> | <b>1235 ±60</b> | <b>195 ± 50</b> |
| <b>ФК,связанные с ГК</b>         | <b>630 ±60</b>  | <b>555±45</b>   | <b>50 ± 45</b>  |
| <b>Гумин</b>                     | <b>1240 ±60</b> | <b>1140 ±50</b> | <b>485 ±70</b>  |

# Возраст фракций гумуса гумусовых горизонтов некоторых почв Русской равнины

| Почва,<br>местоположение                           | Глубина,<br>см | Возраст фракций гумуса, В.Р. (лет назад) |                      |                                                     |             |                  |
|----------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-------------|------------------|
|                                                    |                | Свободных<br>ГК                          | ГК,связанных<br>с Са | ГК,<br>связанных с<br>R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | суммы<br>ГК | гумина           |
| Мощный<br>чернозем, Курск                          | 10-20          | Не опр.                                  | 1680+80              | Не опр.                                             | 1400±100    | 1100±70          |
| Лугово-черно-<br>земная,<br>Кисловодск             | 5-10           | 730±110                                  | 1530±60              | 1700±60                                             | Не опр.     | 1130±100         |
| Дерново-<br>подзолистая,<br>р. 2-71                | 5-11           | 600±30                                   | Не опр.              | Современный                                         |             |                  |
| Дерново-глеевая,<br>Ярославская обл.               | 20-30          | 3600±40                                  | Не опр.              | 4000±50                                             | Не опр.     | Не опр.          |
|                                                    | 30-35          | 8440±60                                  |                      | Современный                                         |             |                  |
| Торфяно-<br>глеевая.<br>Смоленская обл.            | 26-33          | 1100±100                                 | Не опр.              | 1000±100<br>7600± 200                               | Не<br>опр.  | Не<br>опр.       |
|                                                    | 40-50          | 8300±180                                 |                      | 7600 ±200                                           |             |                  |
| Каштановая " "<br>почва.<br>Ставропольский<br>край | 0-20           |                                          | 1000±100             | 1080±120                                            | Не<br>опр.  | Современ-<br>ный |

**Радиоуглеродный возраст гумусовых фракций ископаемых почв  
(\* Pollach, Costin, 1971; \*\*Scharpenseel, 1971; \*\*\* Чичагова, 1972).**

| Фракция                           | Погребенная почва, Австралия* | Погребён-ный чернозём, ФРГ** | Ископаемая брянская почва*** |             |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
|                                   |                               |                              | Араповичи                    | Мезин       |
| Гумусовые и древесные угли        | 30 620 ± 1200                 | 6830± 100                    | Не опр.                      | Не опр.     |
| Фульвокислоты                     | Не опр.                       | 4310± 210                    | "                            | "           |
| Гуминовые кислоты (сумма)         | 32 050 ± 1010                 | 7600±200                     | 31 500±1400                  | 24 300 ±370 |
| Гуминовые кислоты, связанные с Са | Не опр.                       | Не опр.                      | 24 000 ± 300                 | 24 210 ±270 |
| Гумины                            | 18 540 ± 890                  | 6930 ± 80                    | Не опр.                      | Не опр.     |
| Общее                             |                               |                              |                              |             |

# Определение продолжительности периода гумусообразования (Чичагова, Черкинский)

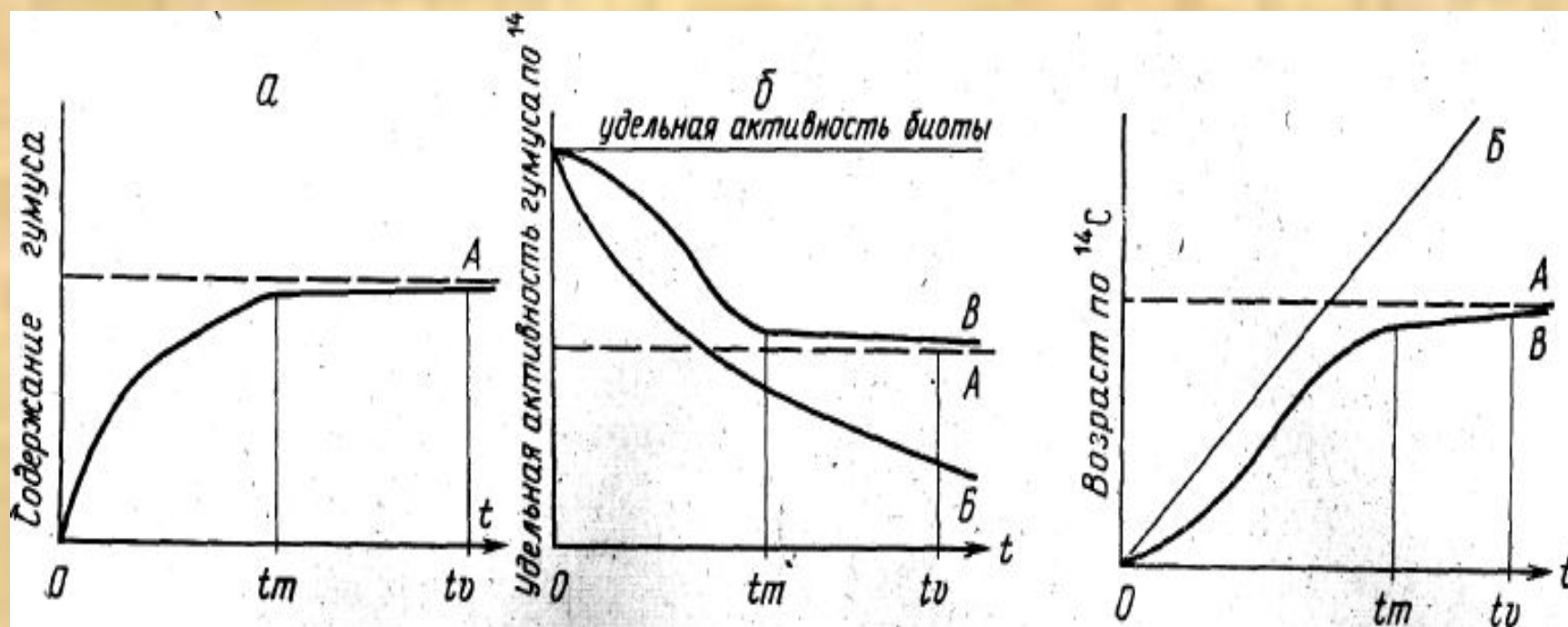


Схема изменений параметров процессов гумусообразования (моногенетичная модель):

*A*—уровень квазиравновесного состояния, *Б* — состояние закрытой системы,  
*B* — состояние реальной системы. *O* —  $t_m$ —характерное время или продолжительность  
 периода гумусонакопления;  $t_v$ — момент наблюдения; *a* — содержание гумуса,  
*б* — удельная активность гумуса по  $^{14}\text{C}$ , справа — радиоуглеродный возраст гумуса

Показано, что удельная активность гумуса по радиоуглероду горизонтов, пришедших в квазиравновесное состояние, остается неизменной с течением времени. Для таких горизонтов эта величина характеризует длительность цикла полного обновления углерода гумуса или максимальное характерное время процесса гумусообразования.

Таким образом,  $^{14}\text{C}$ -возраст гумуса горизонтов, достигших квазиравновесного состояния, показывает характерное время процессов гумусообразования или продолжительность этапа саморазвития в данном горизонте и позволяет определить скорость обновления гумуса.

Для горизонтов, не достигших квазиравновесного состояния, по  $^{14}\text{C}$  определяется минимальное значение времени процессов гумусонакопления в них, причем, чем дальше горизонт от равновесного состояния, тем ближе значение радиоуглеродного возраста к истинному.

# Определение показателя обновления гумуса современных почв (коэффициент обновления гумуса–Kr)

Используя данные по изменению концентрации  $^{14}\text{C}$  в атмосфере (Болин, 1989), учитывающие как «эффект Зюсса» - резкое снижение концентрации  $^{14}\text{C}$  из-за техногенного загрязнения, так и «бомбовый эффект» – результат добавления бомбового  $^{14}\text{C}$  за счет испытаний ядерного оружия, а также математическую модель динамики углерода в моногенетическом профиле почвы (Черкинский, Бровкин, 1993; Черкинский, Пауль, 1995)., предложена методика определения скорости минерализации и коэффициента обновления гумуса - Kr, представляющего собой интегральный показатель омоложения почвенного углерода в результате как биохимической минерализации, так и его миграции. Модель Черкинского-Бровкина предлагает способ вычисления скорости обновления гумуса, учитывающий полную кривую изменений специфической активности углерода атмосферы с 1956:

$$\underline{I(t) = I(t-1) - (Kr + \lambda)I(t-1) + KrI_o(t)},$$

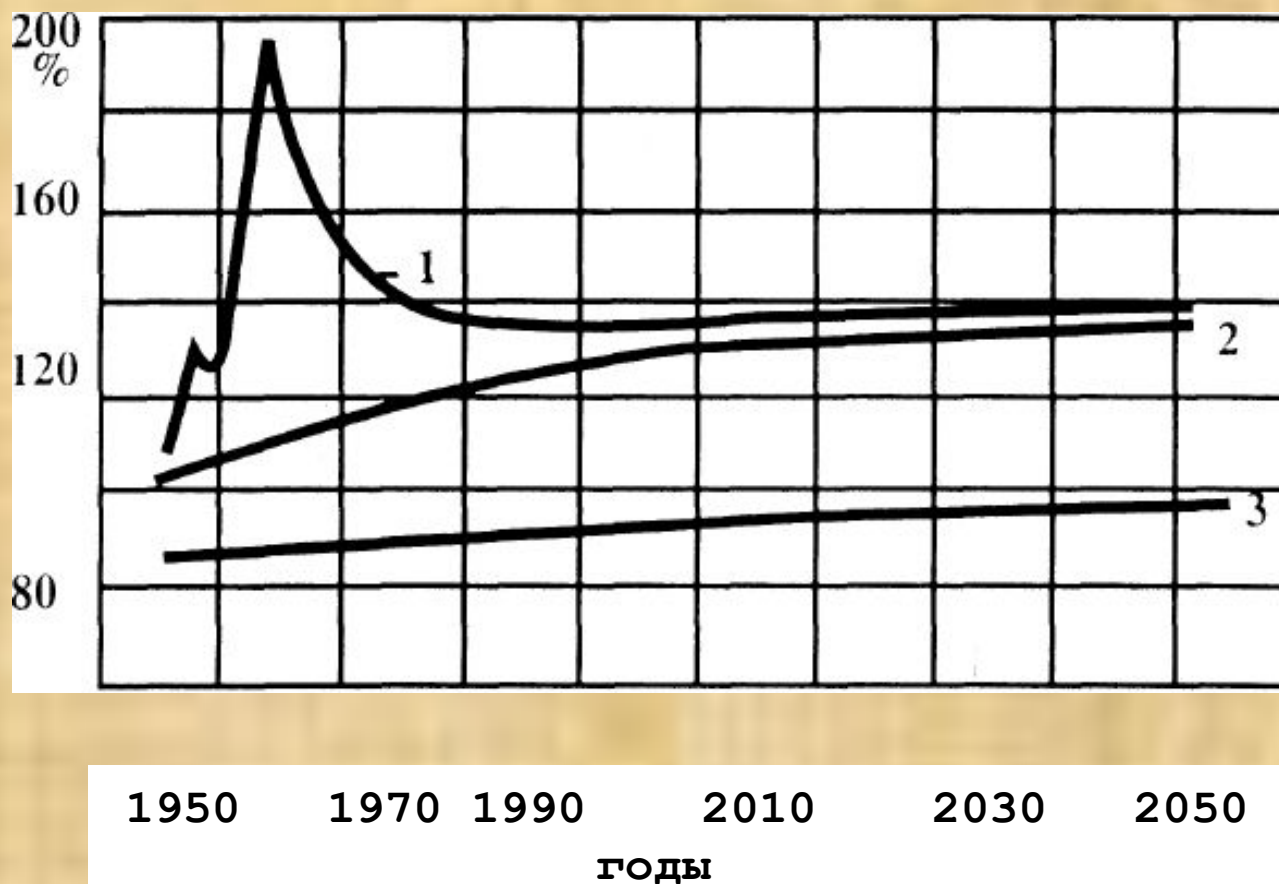
где  $I(t-1)$  – специфическая активность в предыдущий год, а  $I_o(t)$  – специфическая активность в год  $t$ . Это позволило вычислить коэффициент обновления гумуса почв на основе прямых измерений активности  $^{14}\text{C}$  в почвах:

$$\underline{Kr = \lambda[I(t)/(I_o(t) - I(t))\exp\lambda(t-1950)]1000 \text{ g/kgC yr}^{-1}}.$$

Это уравнение дает возможность рассчитывать скорость углеродного обмена (УО) почв, а компьютерная программа позволяет выдать данные о Kr, скорости УО и о %-м содержании в образце современного углерода (pmC).

**Изменение специфической активности углерода(% от стандарта NBS) в атмосфере(1) и в гумусе почв с различным обменом углерода:**

**$K_r=22 \text{ g/kgC yr}^{-1}$ (2);  $K_r=1 \text{ g/kgC yr}^{-1}$ (3 )**

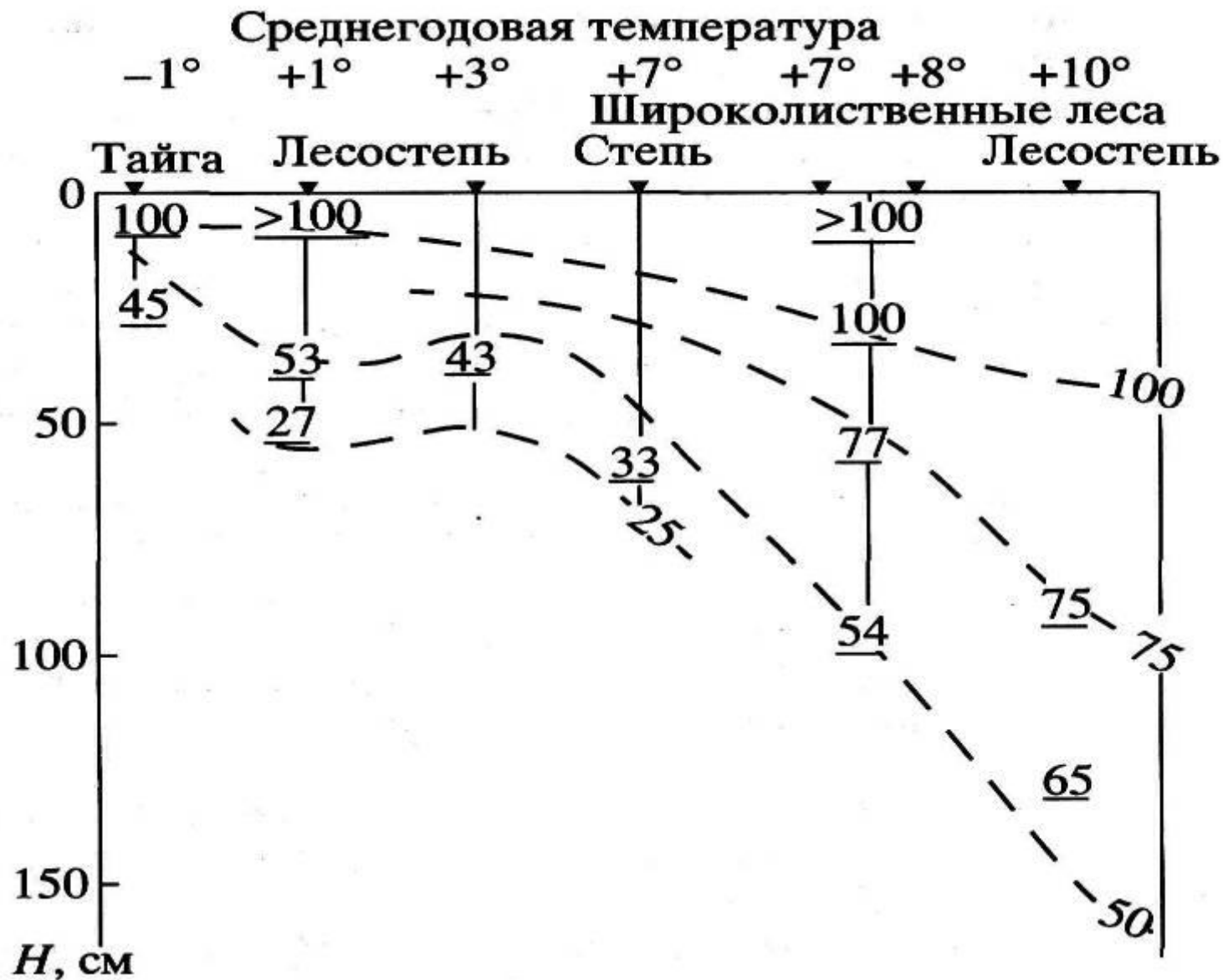


## **Определение показателя интенсивности омоложения ОВ голоценовых палеопочв (индекс омоложения).**

**Предложен показатель интенсивности омоложения гумуса (индекс омоложения) (Alexandrovskiy, Chichagova, 1998). Используя эти данные, можно оценивать возможную величину омоложения 14С дат погребенных почв и реликтовых горизонтов, что должно являться важным условием при геохронологических построениях и палеогеографических реконструкциях.**

**Обнаруживается четкая зависимость интенсивности омоложения гумуса от глубины залегания датировемых горизонтов почвы и климатических условий гумусообразования.**

**Величина омоложения органического вещества почв на разной глубине (в %. за 100 лет) в разных зонах.**

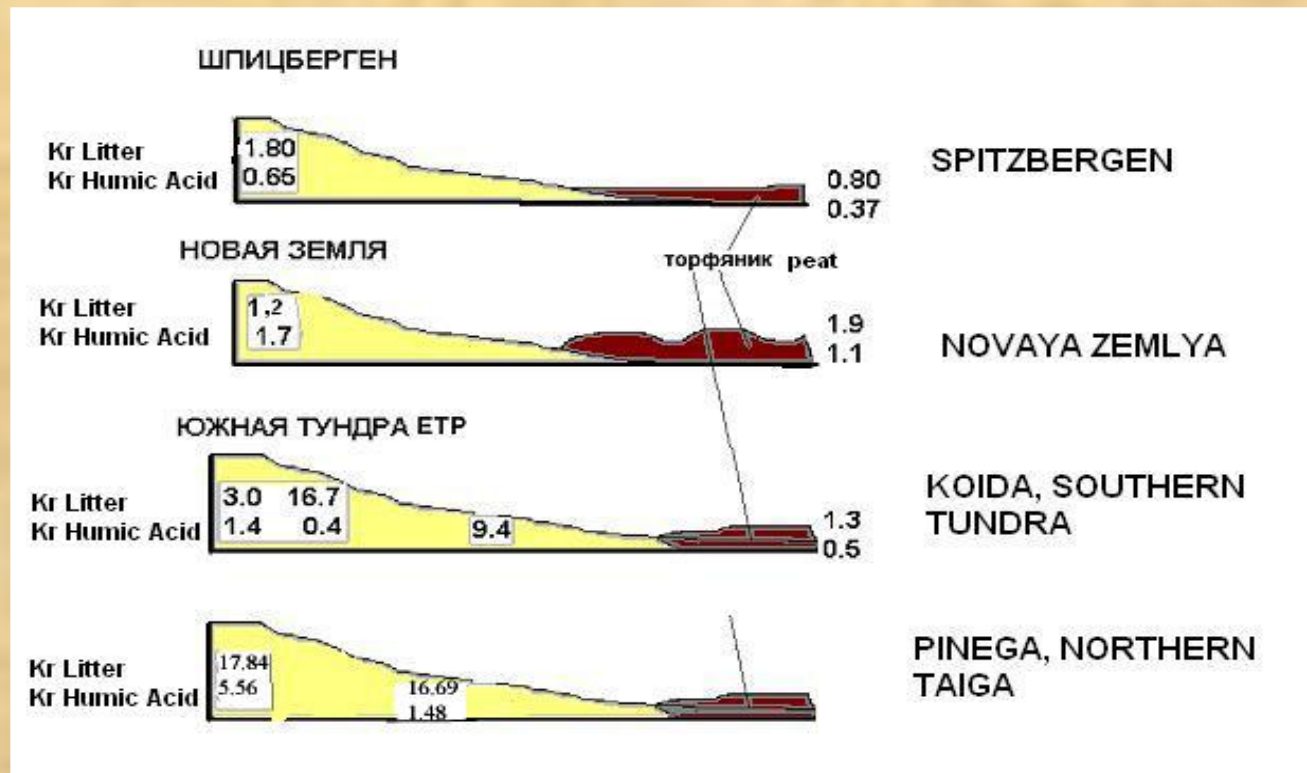


## **Скорости обновления углерода северных почв**

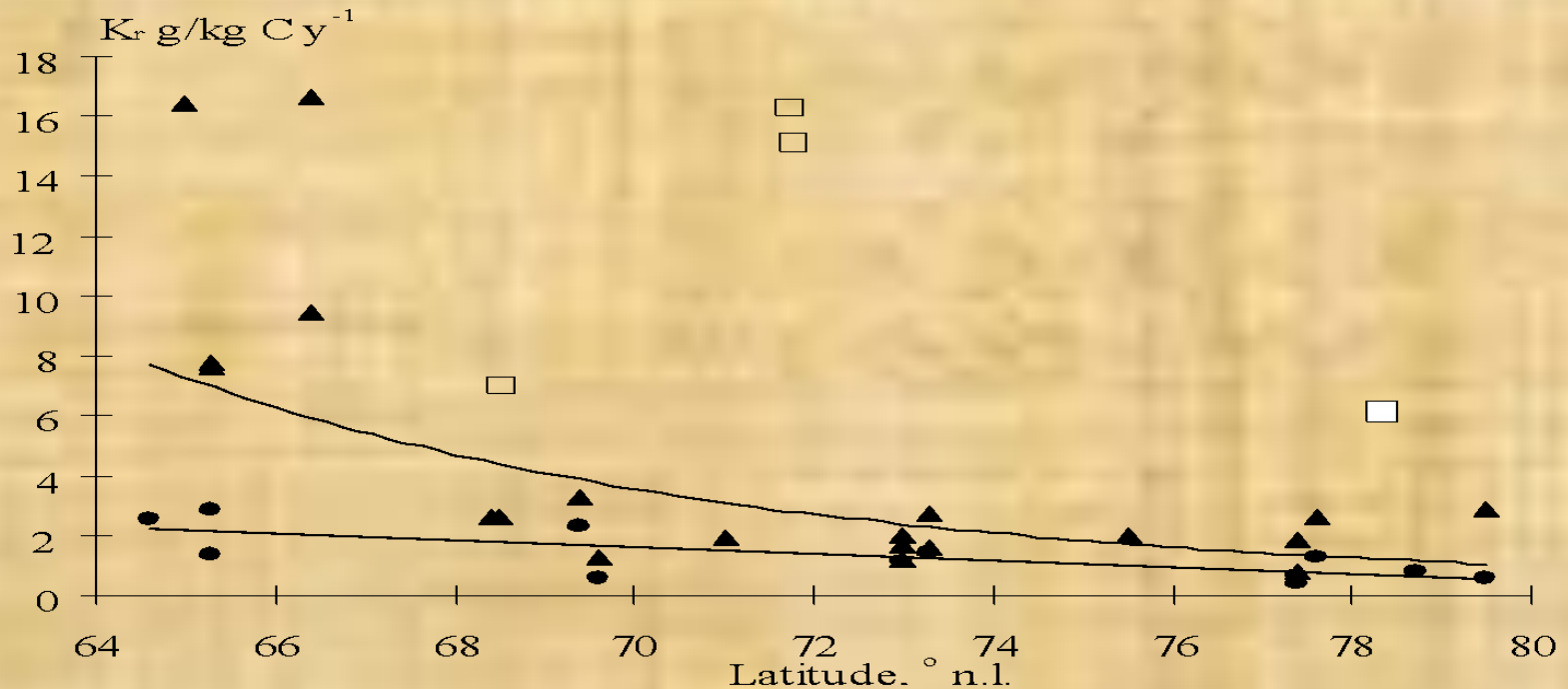
**Выявлены различия в скоростях обновления углерода северных почв и их количественные зависимости от характера органического вещества почв, глубины почвенного горизонта, положения в рельефе, широты местности, характера экосистем и почвообразующих пород.**

# Пространственная изменчивость коэффициента обновления гумуса в г/кг углерода в год в высоких широтах на локальном уровне.

Наибольшая скорость углеродного обмена характерна для почв хорошо дренированных территорий, в условиях заболоченности скорость обновления углерода уменьшается в несколько раз.



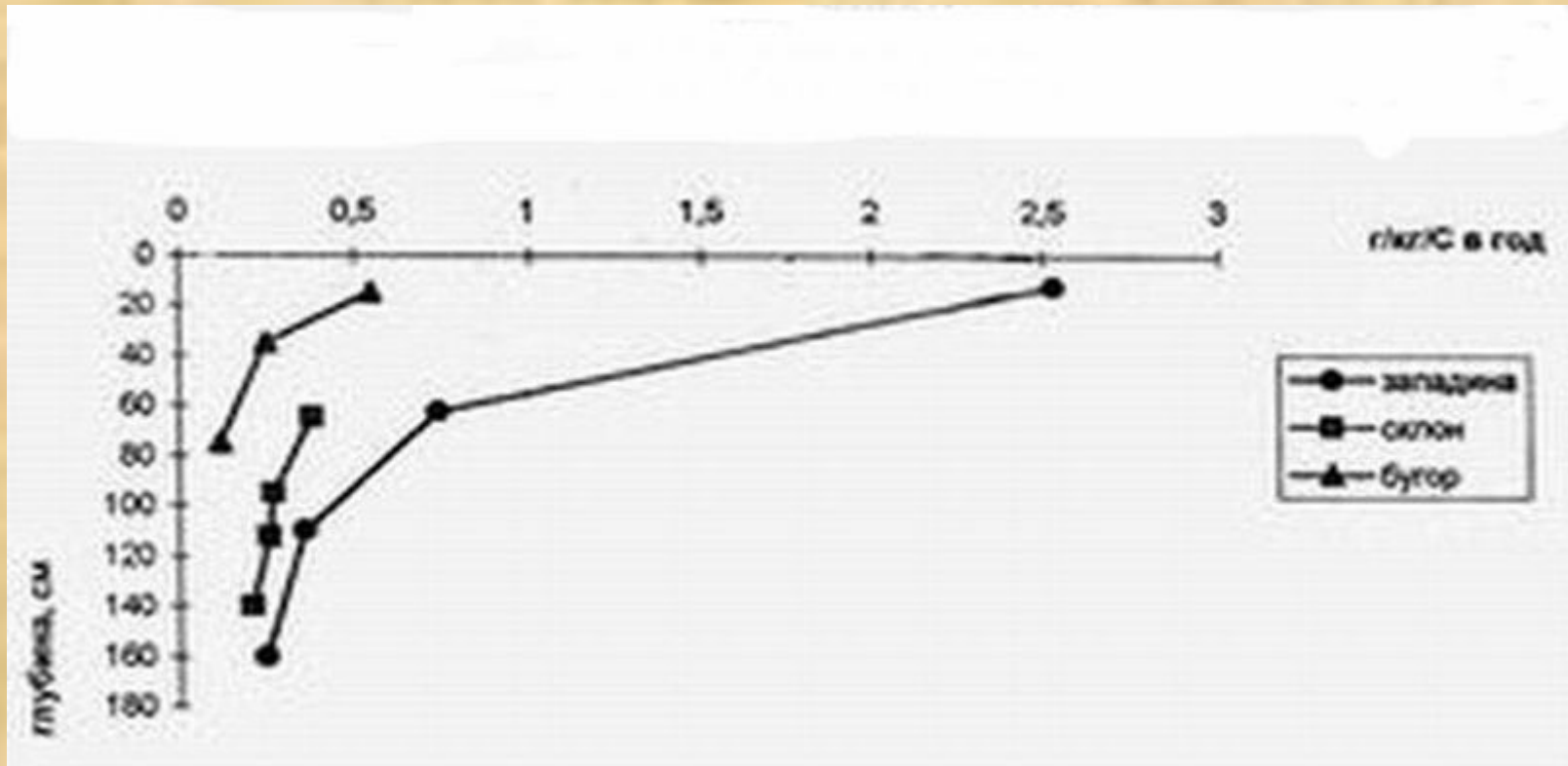
## Пространственная изменчивость коэффициента обновления углерода верхних горизонтов дренированных почв: связь $K_r$ с широтой местности.



Величины коэффициента обновления гумуса слабо увеличивается с севера на юг в безлесной области, вслед за возрастанием биологической активности.

Треугольники –  $K_r$  для поверхностных горизонтов; кружки –  $K_r$  на глубине 10 см.; квадраты – скорости обновления подстилок

# Скорость обновления углерода в слитых почвах Предкавказья на разных элементах микрорельефа гильгайного комплекса.



Самые высокие скорости обновления углерода (УО) характерны для верхних горизонтов почв микрозападины, значительно меньшая скорость – в верхних гор. микроповышений и микросклона. Такие кривые УО характерны для гумуса слитоземов.

# **Радиоуглеродный возраст почв**

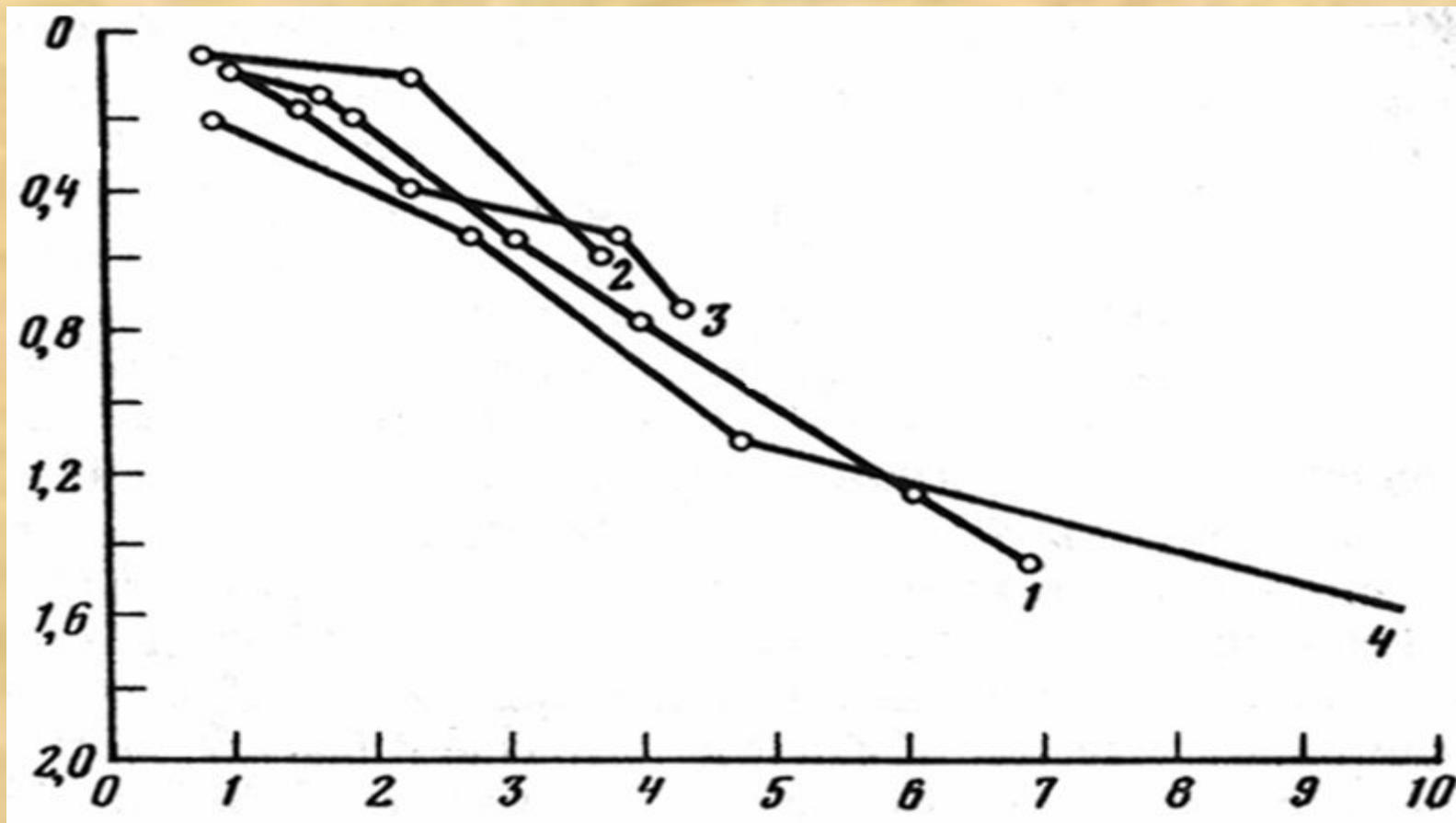
## **Интерпретация почвенных радиоуглеродных данных:**

**Удельная активность природного радиоуглерода** является одним из свойств почвы, таким же, как pH, влажность, содержание различных элементов и др. Однако, интерпретация радиоуглеродных данных, полученных на основе определения этого свойства и, в частности, переход от удельной активности к возрасту гумуса и далее – к возрасту почв, имеет определенные трудности, т.к. почва является одним из самых сложных углеродосодержащих объектов. Мы предлагаем называть результаты радиометрических определений для ОВ почв ( $^{14}\text{C}$ -даты) **«радиоуглеродным возрастом гумуса»**, понимая под этим для **верхних горизонтов современной почвы – скорость обновления углерода** («относительный возраст» по Герасимову); **для нижней части профиля**, за пределами биологического круговорота – **минимальный возраст горизонта**, определяемый долей инертного углерода в ОВ; **для реликтовых горизонтов** в профиле современных почв – **минимальное время их существования**, различающееся степенью сохранности; **для ископаемых почв – минимальный возраст их погребения** («абсолютный возраст» по Герасимову).

## Роль факторов почвообразования

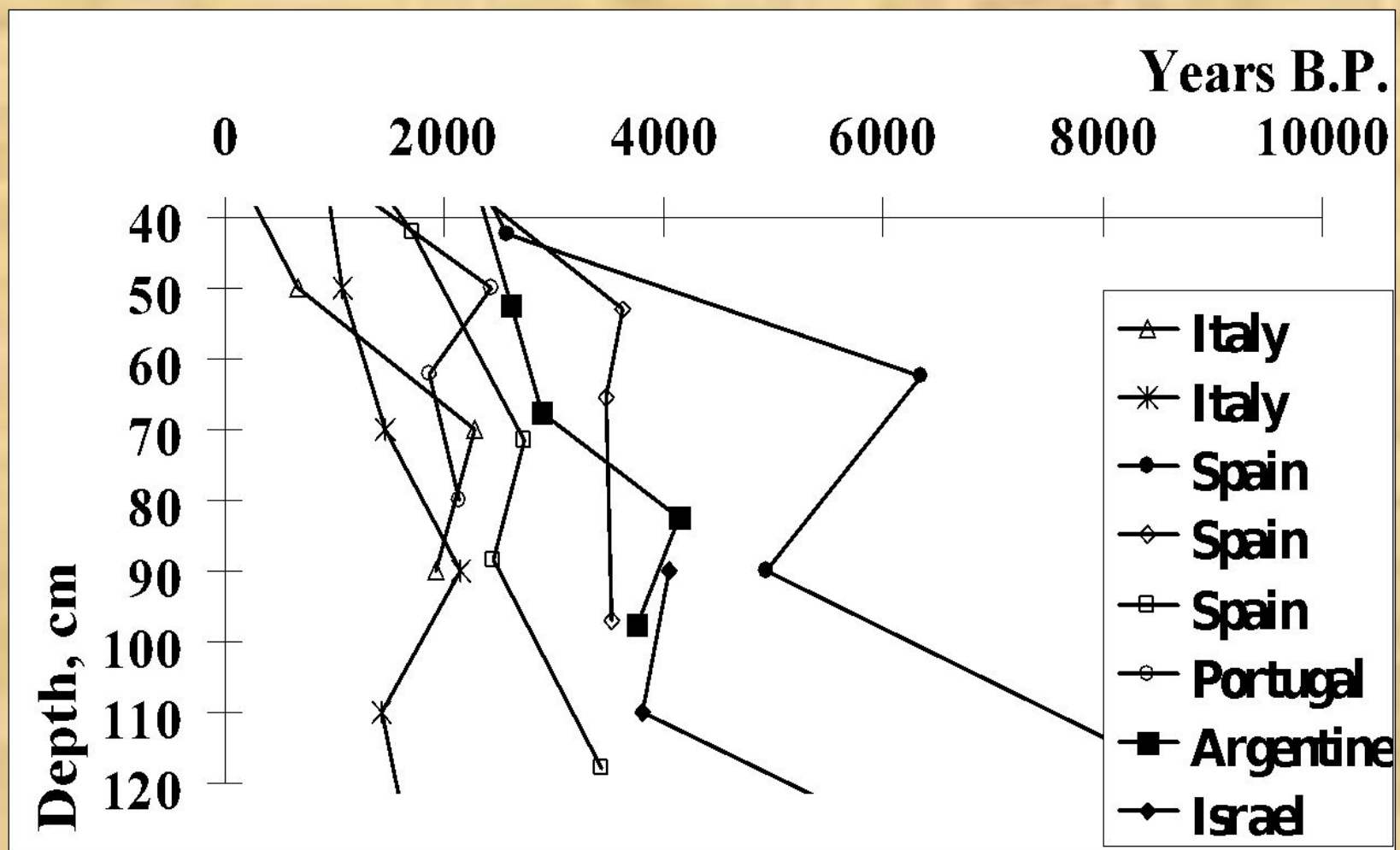
На радиоуглеродный возраст (РВ) большое влияние оказывают такие факторы почвообразования, как климат, рельеф местности, материнские породы и др. Изменение  $14C$  – возраста в зональном ряду почв проявляется следующим образом: **РВ ГК арктического подбюра** отражает характер почвообразования в условиях пониженной биологической активности (**РВ= 3700 лет**); с повышением ее **в лесной зоне** РВ уменьшается (**РВ=600-1000 лет**); **в черноземах и в каштановых почвах** биологическая активность достигает оптимальных значений, но дальнейшего уменьшения возраста не наблюдается (**РВ=1500-3000 лет**), что объясняется большой термодинамической устойчивостью ГК этих почв и их более прочными связями с минеральной частью почвы. **ГК гумусовых горизонтов бурых пустынных почв** Средней Азии имеет так же древний возраст благодаря очень высоким темпам минерализации ОВ, потере периферической части ГК (наиболее лабильной и молодой) и усилению их ароматичности (за счет древних ядер ГК); в профиле этих почв сохранился и очень древний **реликтовый гумус с РВ до 11 тыс.лет**. РВ **горных почв** зависит в значительной степени от проявления экзогенных естественных нарушений и крутизны склонов.

# Кривые радиоуглеродного возраста черноземов



1 – Курск, р-з 2; 2 – Мехрен (ФРГ); 3 – Курск, р-з 1; 4 - Орел

## Кривые радиоуглеродного возраста вертисолов мира



## Заключение

- **Современные почвы**, благодаря биологическому круговороту и постоянному обновлению ОВ, являются **открытыми в отношении углеродного обмена системами**, а **ископаемые почвы - открыто-закрытыми системами**.
- ОВ почв гетерохронно и состоит из разных по строению, генезису и возрасту фракций. Оно подвержено различным диагенетическим преобразованиям, связанным как с трансформацией в результате биологического круговорота в процессе почвообразования (в случае современных почв), так и со временем и условиями погребения (в случае ископаемых почв); возможно накопление ОВ в результате эолового переноса, эрозии, дефляции и пр. природных процессов

- Был исследован возраст фракций ОВ различных типов почв, что помогло оптимизировать методику получения почвенных препаратов для датирования и определить «датирующую» фракцию.
- Было предложено определять **«датирующую» (наиболее древнюю) фракцию** для различных типов современных и для ископаемых почв. Установлено, что ими являются преобладающие, накапливающиеся фракции, т.е. наиболее биохимически и термодинамически устойчивые для данного типа гумуса.

- Для гумуса черноземов, где возраст фракций резко различается, «датирующими» являются **гуматы Са и ГК**, прочно связанные с минеральной частью почвы.

- В гумусе почв подзолистого ряда все фракции близки по возрасту, однако преобладающая **1 фракция ГК** является наиболее древней.

- В гидроморфных подзолах преобладающей и накапливающейся является фракция фульвокислот (ФК), входящая в сложные комплексные связи с минеральной частью почвы: она и имеет наибольший возраст. Т.о. ФК могут так же являться «датирующей» фракцией в случае, если они накапливаются в виде прочных органоминеральных соединений, например, в гор Bgh глеевого ортзандового подзола или в самом ортзанде, где их возраст превышает возраст ГК.

- В гумусе ископаемых почв «датирующими» являются **ГКII+III фракций**, прочно связанных с минеральной частью почвы.

- Мы предлагаем называть результаты радиометрических определений для гумуса почв ( $^{14}\text{C}$  - даты)

«радиоуглеродным возрастом (РВ)» гумуса, понимая под этим для верхних горизонтов современной («живой») почвы – скорость углеродного обмена. Для нижней части профиля, за пределами биологического круговорота – минимальный радиоуглеродный возраст горизонта, определяемый долей инертного углерода в ОВ; для реликтовых горизонтов в профиле современных почв – минимальное время их существования, различающееся степенью сохранности или деградированности; для ископаемых почв – минимальное время их погребения.

14

Сп

ие!

