

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.

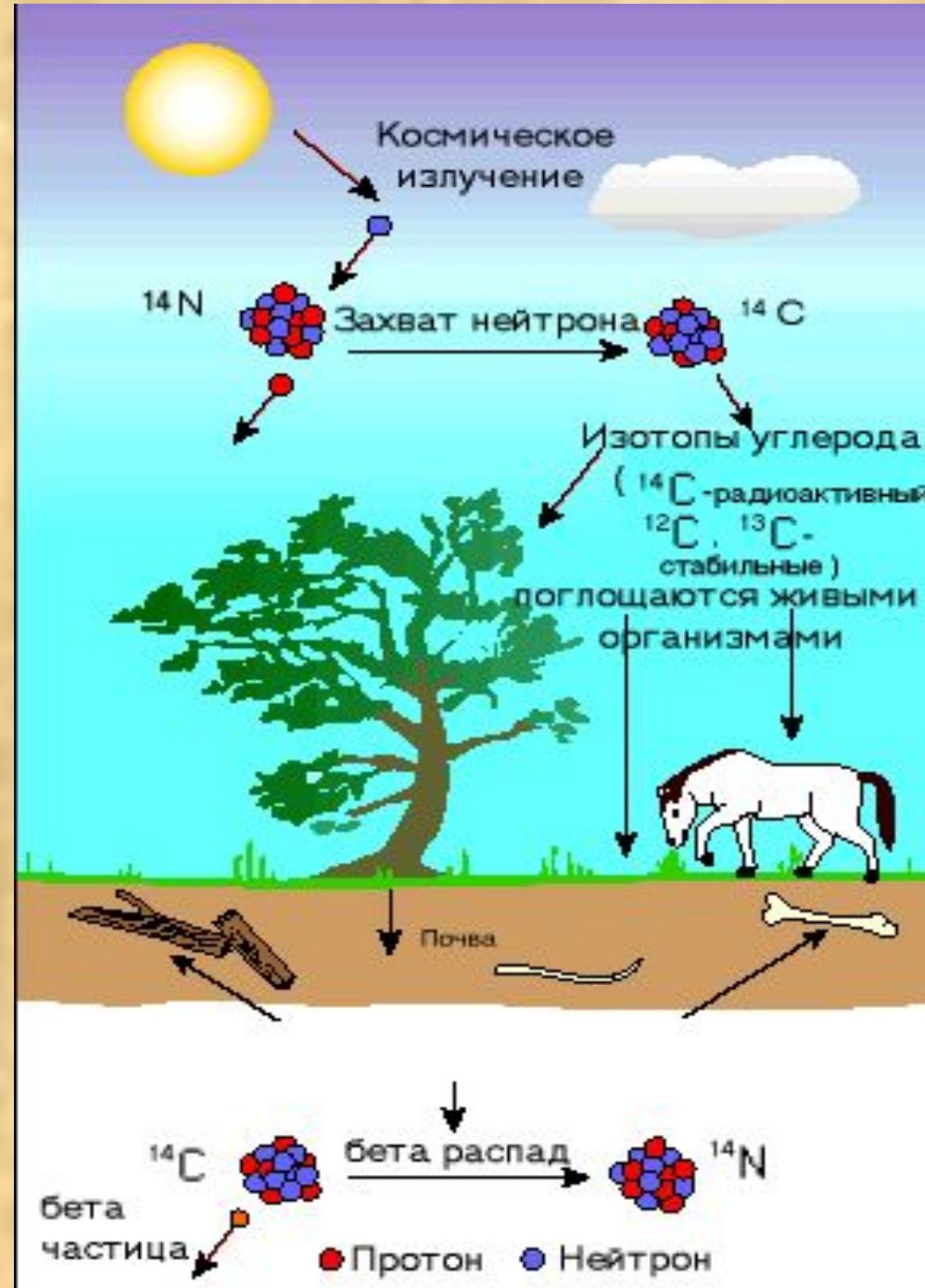
Основа метода



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

Период полураспада

^{14}C 5730 ± 40



Радиоуглеродное датирование органического вещества (ОВ) современных и ископаемых почв

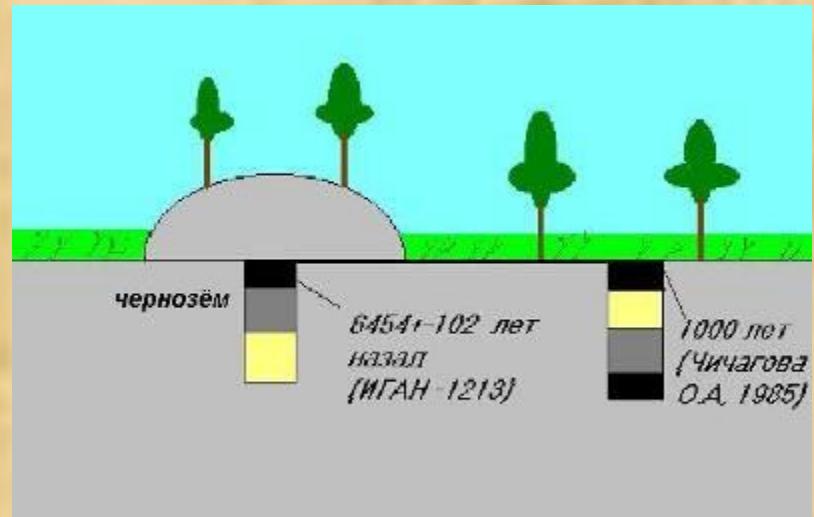
«Открытая» система



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)**

Почва	Глубина см	По общему ОВ	По ГК
Чернозем мощный	0-10	современный	1000±40
	50-60	2890±100	4050±60

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

Уголь	ГК	ОВ
30620±1200	32050±1000	19730±600

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

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

Возраст фракций гумуса гумусовых горизонтов некоторых почв Русской равнины

Почва, местоположение	Глубина, см	Возраст фракций гумуса, В.Р. (лет назад)				
		Свободных ГК	ГК, связанных с Ca	ГК, связанных с R_2O_3	суммы ГК	гумина
Мощный чернозем, Курск	10-20	Не опр.	1680+80	Не опр.	1400±100	1100±70
Лугово-черно- земная, Кисловодск	5-10	730±110	1530±60	1700±60	Не опр.	1130±100
Дерново- подзолистая, р. 2-71	5-11	600±30	Не опр.	Современный		
Дерново-глеевая, Ярославская обл.	20-30	3600±40	Не опр.	4000±50	Не опр.	Не опр.
	30-35	8440±60		Современный		
Торфяно- глеевая. Смоленская обл.	26-33	1100±100	Не опр.	1000±100 7600± 200	Не опр.	Не опр.
	40-50	8300±180		7600 ±200		
Каштановая посадка. Ставропольский край	0-20		1000±100	1080±120	Не опр.	Современ- ный

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

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

Определение продолжительности периода гумусообразования (Чичагова, Черкинский)



Схема изменений параметров процессов гумусообразования (моногенетическая модель):
 А—уровень квазиравновесного состояния, Б — состояние закрытой системы,
 В — состояние реальной системы. O — t_m —характерное время или продолжительность
 периода гумусонакопления; t_v — момент наблюдения; а — содержание гумуса,
 б — удельная активность гумуса по ^{14}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, 14C-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}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)

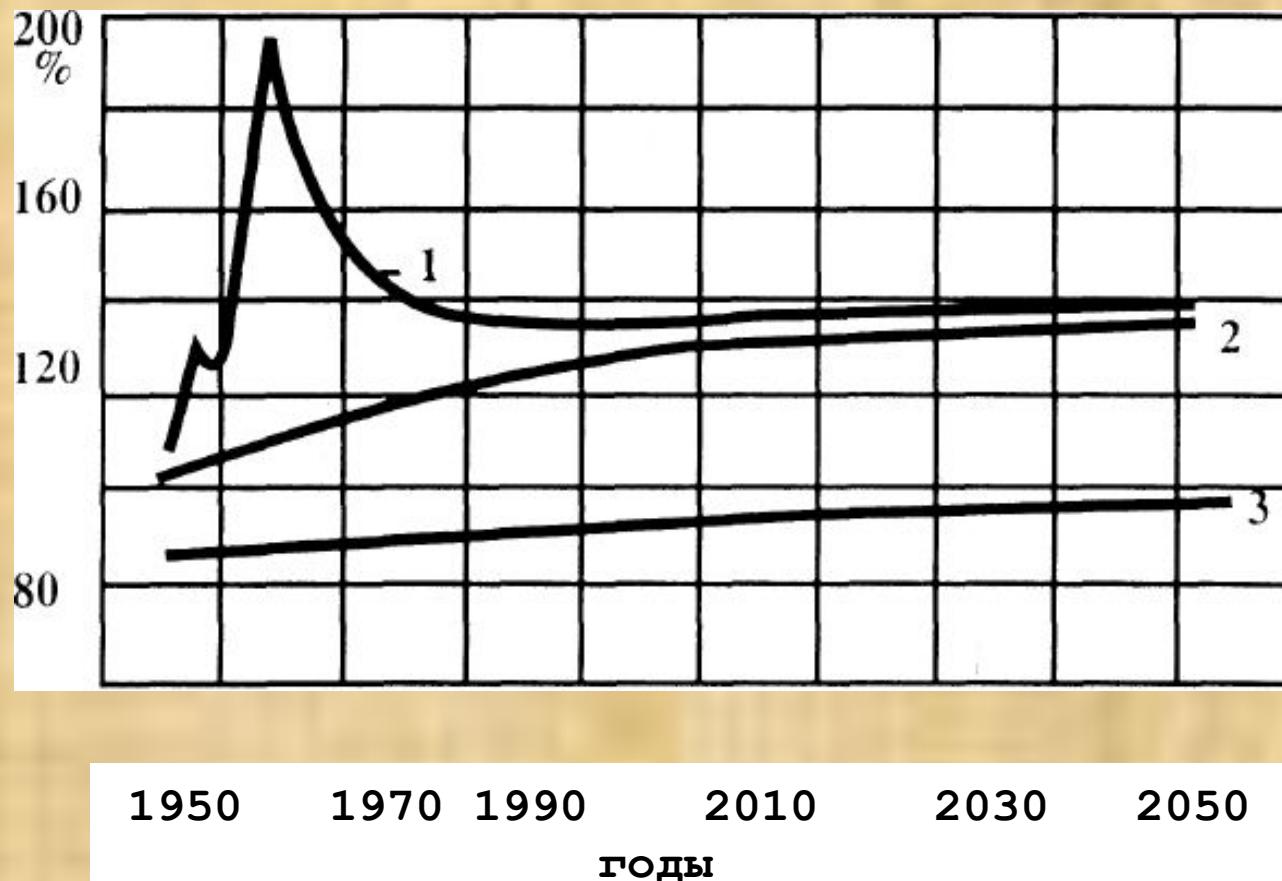
Используя данные по изменению концентрации ^{14}C в атмосфере (Болин, 1989), учитывающие как «эффект Зюсса» - резкое снижение концентрации ^{14}C из-за техногенного загрязнения, так и «бомбовый эффект» – результат добавления бомбового ^{14}C за счет испытаний ядерного оружия, а также математическую модель 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:

$$I(t) = I(t-1) - (Kr + \lambda)I(t-1) + KrI_0(t),$$

где $I(t-1)$ – специфическая активность в предыдущий год, а $I_0(t)$ – специфическая активность в год t . Это позволило вычислить коэффициент обновления гумуса почв на основе прямых измерений активности ^{14}C в почвах: $Kr = \lambda [I(t)/(I_0(t)-I(t))] \exp[\lambda(t-1950)] 1000 \text{ g/kgC yr}^{-1}$.

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 (рмС).

**Изменение специфической активности углерода(% от стандарта NBS) в атмосфере(1) и в гумусе почв с различным обменом углерода:
 $Kr=22 \text{ g/kgC yr } 1(2)$; $Kr= 1\text{g/kgC yr}1(3)$**

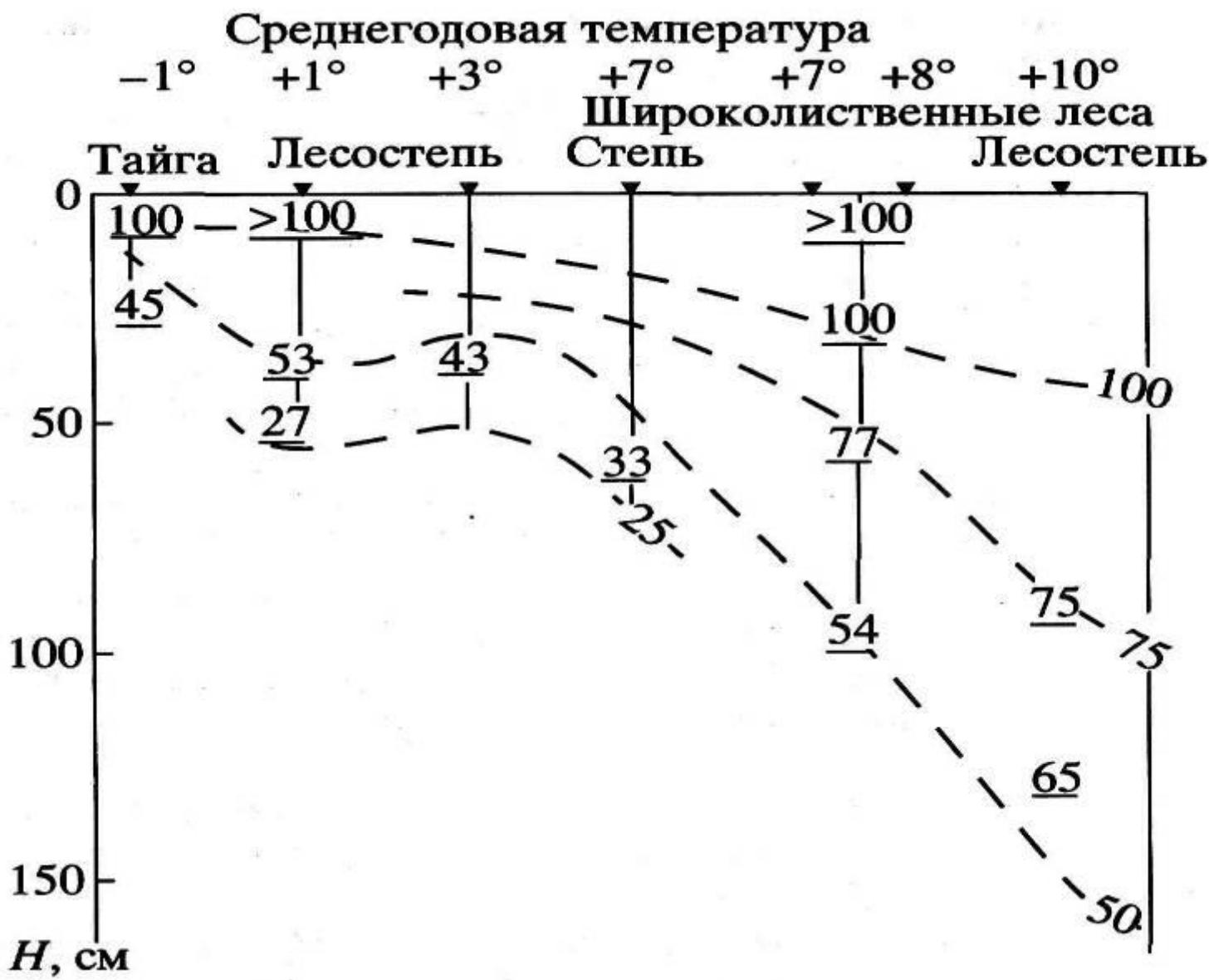


Определение показателя интенсивности омоложения ОВ голоценовых палеопочв (индекс омоложения).

Предложен показатель интенсивности омоложения гумуса (индекс омоложения) (Alexandrovskiy, Chichagova, 1998). Используя эти данные, можно оценивать возможную величину омоложения ^{14}C 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 датируемых горизонтов почвы и климатических условий гумусообразования.

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

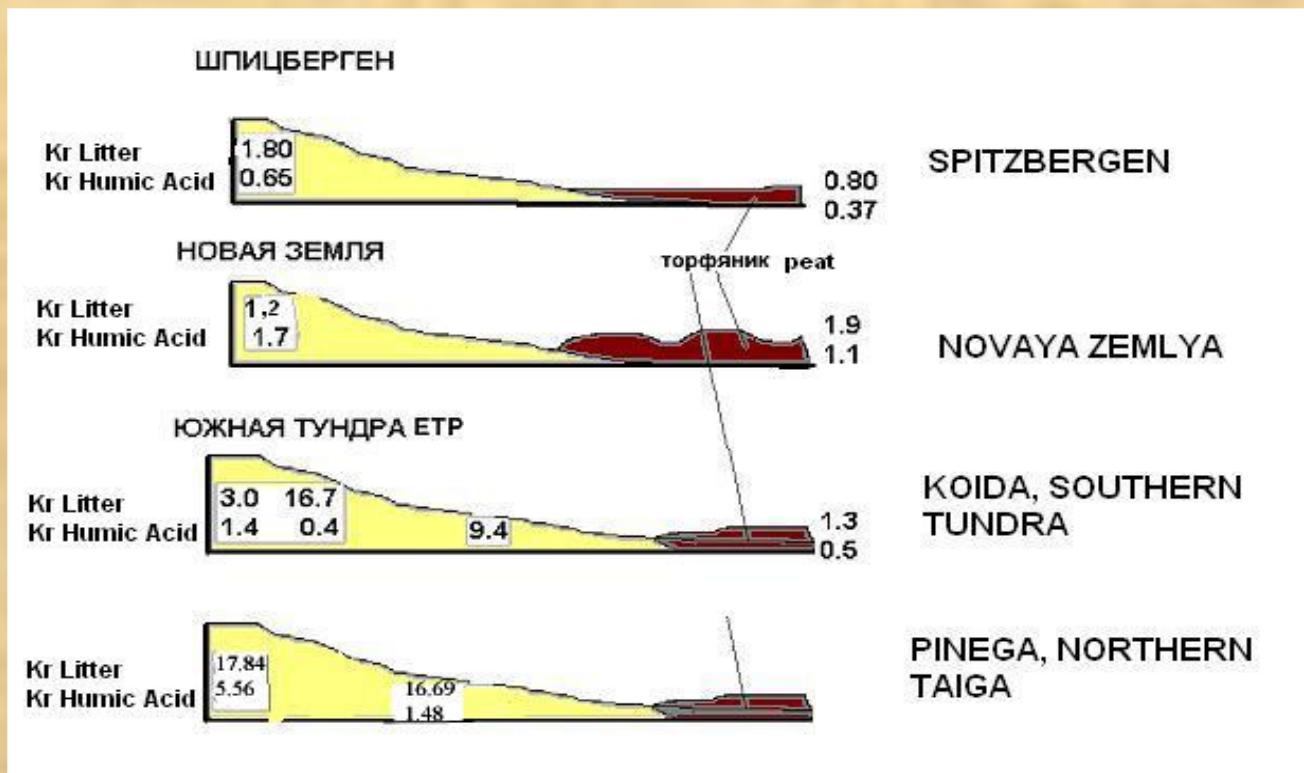


Скорости обновления углерода северных почв

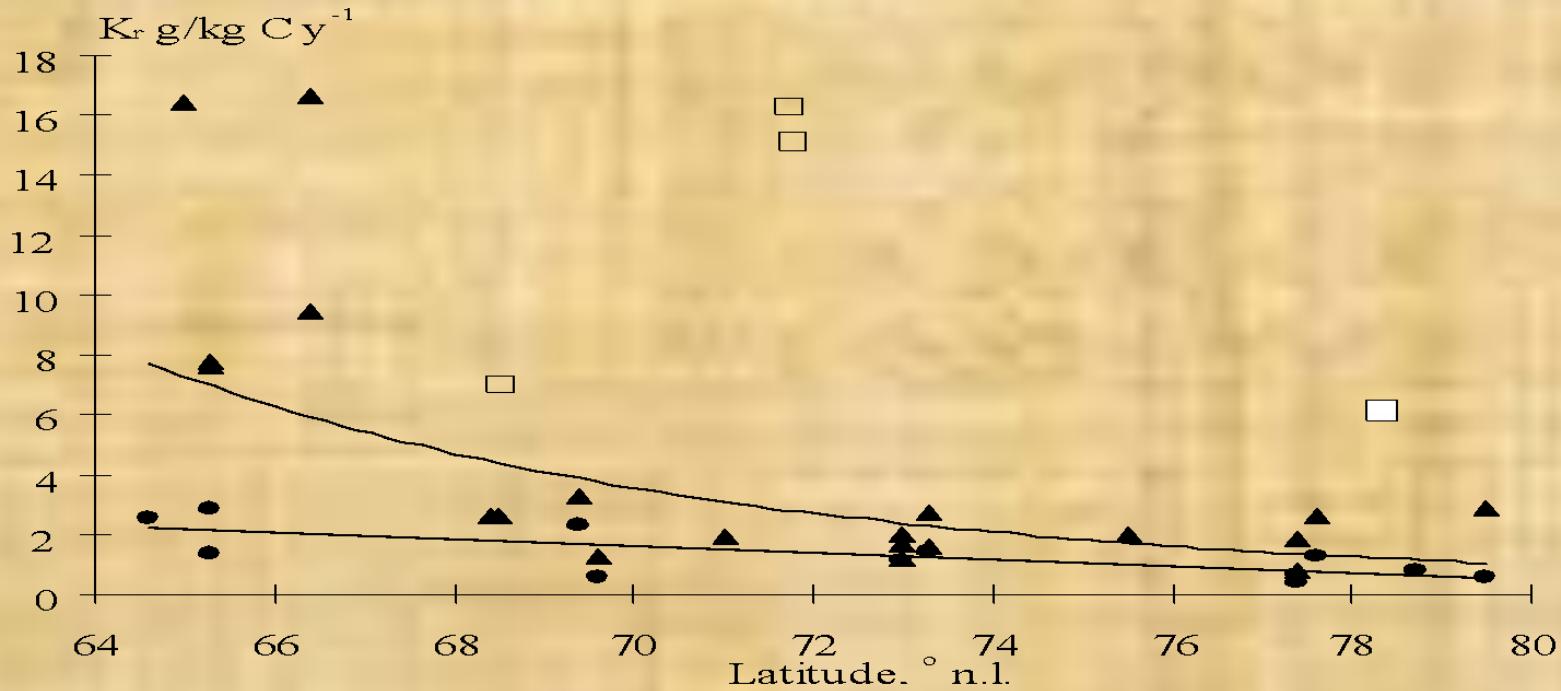
Выявлены различия в скоростях обновления углерода северных почв и их количественные зависимости от характера органического вещества почв, глубины почвенного горизонта, положения в рельефе, широты местности, характера экосистем и почвообразующих пород.

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.



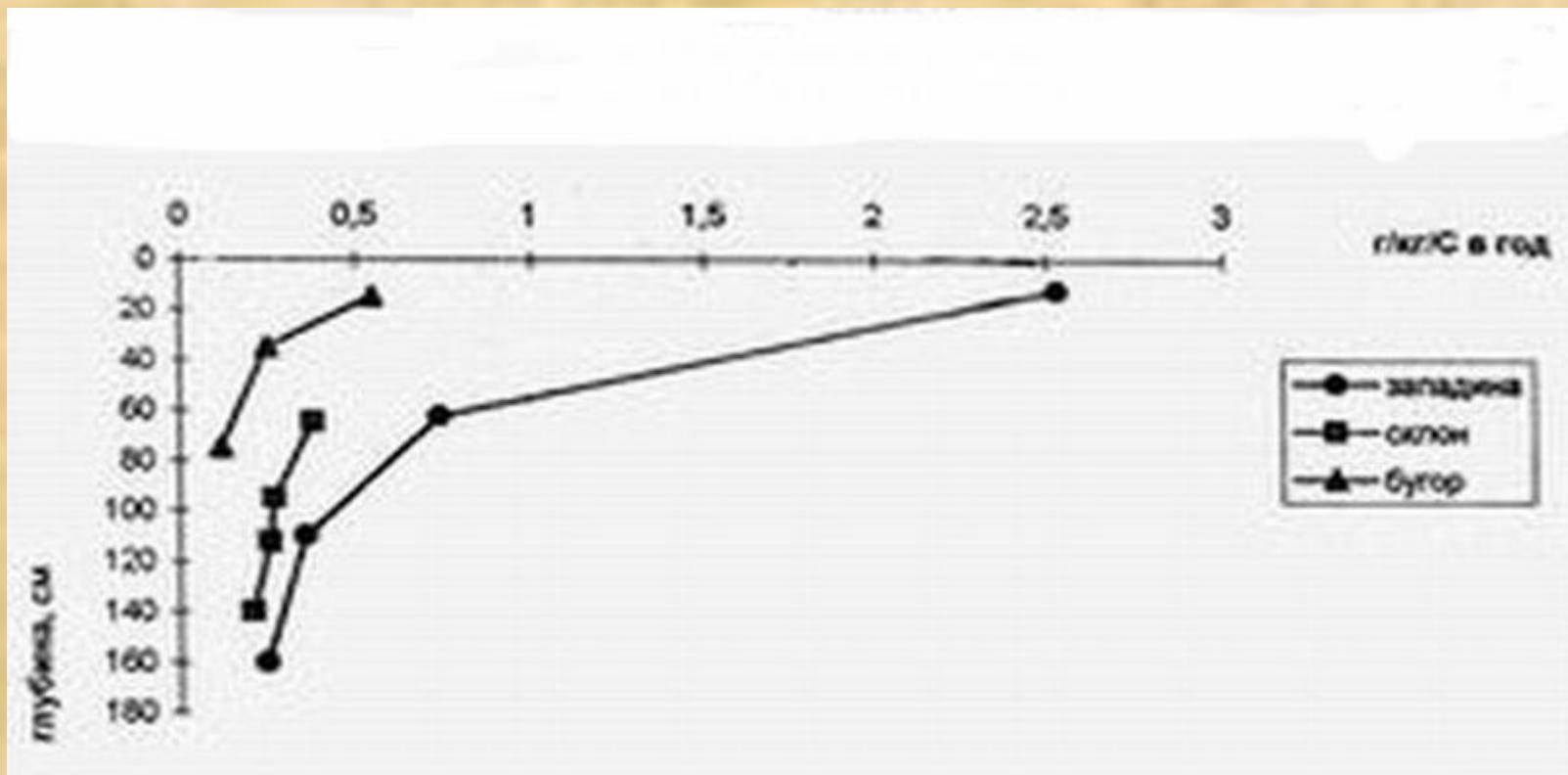
Пространственная изменчивость коэффициента обновления углерода верхних горизонтов дренированных почв: связь K_r с широтой местности.



Величины коэффициента обновления гумуса слабо увеличиваются 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 микрозадины, значительно меньшая скорость – в верхних гор. микроповышений и микрослона. Такие кривые УО характерны для гумуса слитоземов.

Радиоуглеродный возраст почв

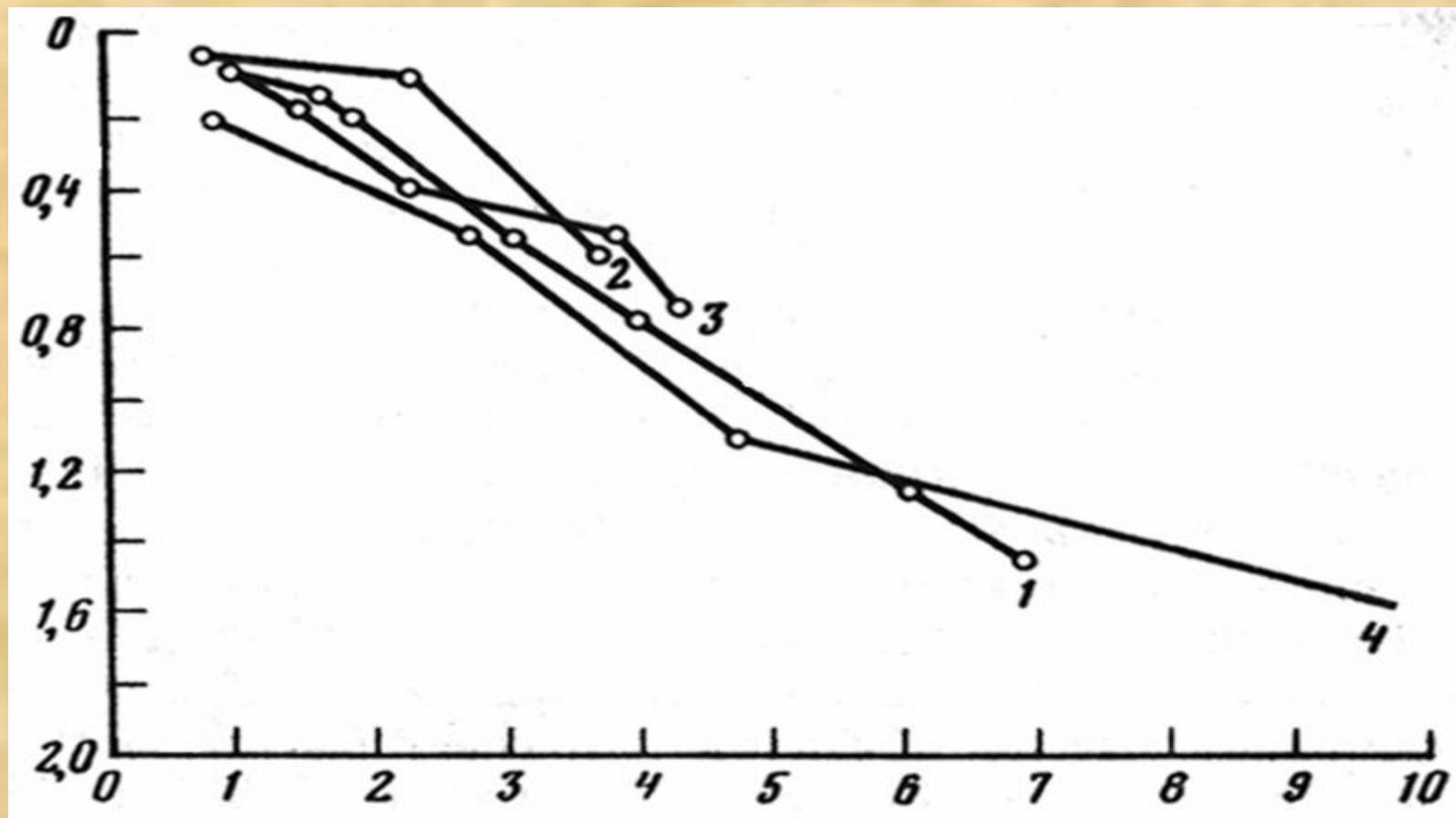
Интерпретация почвенных радиоуглеродных данных:

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 углеродсодержащих объектов. Мы предлагаем называть результаты радиометрических определений для ОВ почв (^{14}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

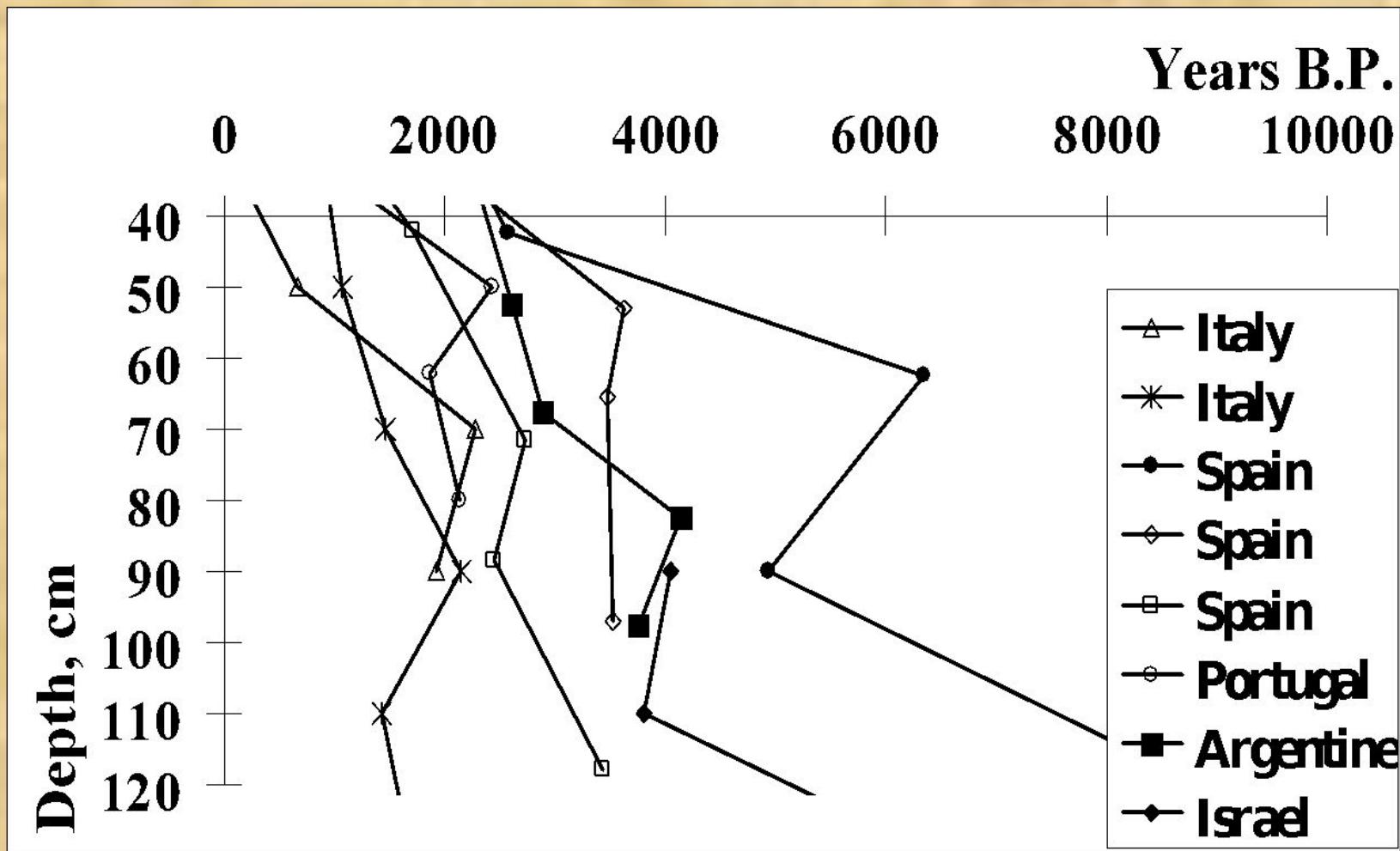
На радиоуглеродный возраст(РВ) большое влияние оказывают такие факторы почвообразования, как климат, рельеф местности, материнские породы и др. Изменение 14C – возраста в зональном ряду почв проявляется следующим образом: РВ ГК арктического подбура отражает характер почвообразования в условиях пониженной 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 усилинию 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 вертисолей 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

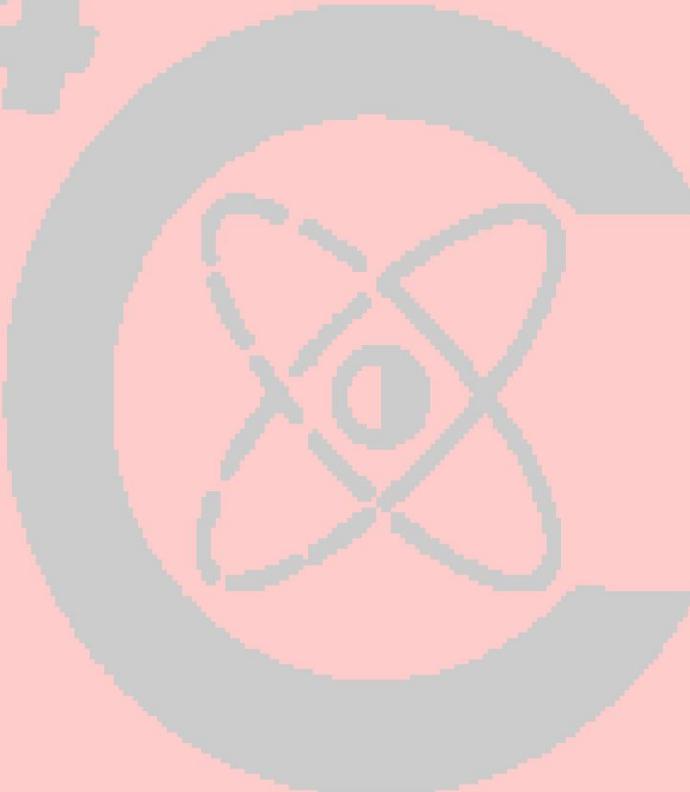
- Был исследован возраст фракций ОВ различных типов почв, что помогло оптимизировать методику получения почвенных препаратов для датирования и определить «датирующую» фракцию.
- Было предложено определять «датирующую» (наиболее древнюю) фракцию для различных типов современных и для ископаемых почв. Установлено, 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 **ГКП+ПI фракций, прочно связанных с минеральной частью почвы.**

- Мы предлагаем называть результаты радиометрических определений для гумуса почв (^{14}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.**

C_{II}

14



[иे!