

## **Лекция 8.**

# **Органическое вещество ПОЧВ.**

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Органическое вещество почв** — это совокупность живой биомассы и органических остатков растений, животных, микроорганизмов, продуктов их метаболизма и специфических новообразованных органических веществ почвы — гумуса (Ковда).

**Гумусообразование** включает в себе, противоположные друг другу направления: процессы разложения и процессы новообразования в результате которых возникают более устойчивые к разложению высокомолекулярные соединения, имеющие характер гумусовых веществ.

Гумусообразование включает все **характерные процессы** формирования и эволюции органо профиля почв:

- поступление органических остатков, подстилкообразование;
- трансформация (разложение, минерализация) поступающих в почву свежих органических остатков;
- гумификация,
- взаимодействие органических веществ с минеральной частью почвы,
- иммобилизация

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Поступление органических остатков** – процесс привноса органического вещества на поверхность почвы или в почву в виде свежих отмерших растительных и животных остатков (надземных и подземных), экскрементов животных, пойменных и агроирригационных наилок, органических удобрений и др.

Поступление органического вещества протекает постоянно в течение всего года. В отдельные сезоны, особенно в конце вегетационного периода, происходит резкое увеличение количества поступающего органического вещества.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

***Интенсивность и характер поступления органических остатков зависит от:***

- Климата;
- Рельефа;
- Структуры биогеоценоза или агроценоза, продуцирующих различное по устойчивости к трансформации и минерализации органическое вещество.

***Источники органического вещества:***

- Остатки высших растений в виде наземного и корневого опада.
- Остатки червей, насекомых и позвоночных животных, микроорганизмы

На 99% органическое вещество Земли состоит из массы растительных организмов, поэтому характер биологического круговорота в первую очередь определяется жизнедеятельностью зеленых растений.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

Термические пояса и биоклиматические области	Площадь суши		Фитомасса			Годичная продукция		
	10 <sup>6</sup> км <sup>2</sup>	% от общей пло- щади	сред- няя, т/га	общая, 10 <sup>9</sup> т	% от общей фито- массы суши	сред- няя, т/га	общая, 10 <sup>9</sup> т	% от общей годич- ной продук- ции суши
Полярные гумидные и семигумидные	8,05	6,0	17,1	13,77	0,6	1,6	1,33	0,8
Бореальные гумид- ные и семигумид- ные	23,20	17,4	189,2	439,06	18,3	6,5	15,7	8,8
Суббореальные в целом	22,53	16,9	123,6	278,67	11,5	7,9	17,97	10,5
гумидные	7,39	5,5	342,0	253,58	10,5	12,6	9,34	5,4
семиаридные	8,10	6,1	20,8	16,85	0,7	8,2	6,64	3,9
аридные	7,04	5,3	11,7	8,24	0,3	2,8	1,99	1,2
Субтропические в целом	24,26	18,2	133,5	323,90	13,5	14,2	34,55	20,1
гумидные	6,24	4,7	366,1	228,42	9,5	25,5	15,92	9,3
семигумидные	8,29	6,2	98,7	81,90	3,4	13,8	11,49	6,7
аридные	9,73	7,3	13,9	13,58	0,6	7,3	7,14	4,1
Тропические в целом	55,35	41,5	243,3	1347,1	56,1	18,5	102,53	59,8
гумидные	26,50	19,9	440,4	1166,17	48,6	29,2	77,32	44,9
семигумидные	16,01	12,0	107,4	171,96	7,1	14,1	22,59	13,2
аридные	12,84	9,6	7,0	9,01	0,4	2,0	2,62	1,7
Суша в целом	134,4	100,0	180,1	2402,5	100,0	12,8	171,54	100,0

\*Без ледников, озер и рек.

Рис. 1. Площадь, фитомасса и продукция (сухая масса) суши Земли (по Н.И. Базилевич, Л.Е. Родину, Н.Н. Розову, 1970)

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Доля фитомассы (от общих запасов Земли) распределилась следующим образом:**

- на первом месте тропический пояс – более 56%.
- второе место принадлежит бореальному поясу около 18%
- третье место субтропический пояс – около 14;
- четвертое место суббореальный пояс – около 12%
- пятое место полярный пояс – около 1%.

В распределение биологической продуктивности выявляется не только **зональные, но и фациальные географические закономерности**. Так, запасы фитомассы и годовая продукция лесных экосистем уменьшаются в Западной Сибири, Средней и особенно Восточной Сибири сравнительно с экосистемами Русской Равнины. Это связано с увеличением континентальности климата и наличием вечной мерзлоты. В степях годовая продукция уменьшается с запада на восток.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

В результате процессов поступления и трансформации опада могут формироваться следующие органогенные горизонты:

- в гидроморфных условиях – **торфяные, торфянистые**;
- в полугидроморфных – **торфянистые и перегнойные**;
- в автоморфных в бореальном поясе – **лесные подстилки**;
- в автоморфных степных травянистых сообществах – **степной войлок, ветошь, дернина**.

**Степной войлок ( $A_0$ )** — разновидность мертвого напочвенного покрова, почвенный горизонт (слой) из отмерших, слежавшихся, но еще не полностью разложившихся остатков травянистой растительности, который покрывает поверхность почвы в степях. По своему происхождению и роли в экосистеме степной войлок в степях является аналогом лесной подстилки в лесах. На болотах аналог степного войлока называется очёс.

Кроме степного войлока, отмершие органы растений в степях могут существовать в виде **ветоши**. Ветошью называют засохшие, но не потерявшие связь с растением (стоящие на корню) побеги. Образование ветоши предшествует образованию степного войлока.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Существует следующая индексация основных органогенных горизонтов:**

**$A_0$  – лесная подстилка, степной войлок**

**$A_{\text{пер}}$  – перегнойный**

**$A_{\text{от}}$  – оторфованная подстилка**

**$T$  – торфяные горизонты**

**$O_{\text{ч}}$  - очес**

**$A_{\text{д}}$  - дернина**



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

## Определение «лесная подстилка».

В определении лесных подстилок существуют **две концепции**. Одна из них рассматривает подстилки как верхний органогенный надпочвенный слой, **надпочву**. Согласно второй, подстилка представляет собой составную часть более широкого понятия «**лесной гумус**» или, что встречается значительно чаще, понятия лесной гумус и лесная подстилка рассматриваются в качестве синонимов. В настоящий момент многими исследователями эта позиция признается ошибочной.

Наиболее точное определение лесной подстилки приложено **С.В. Зонном** (почти 20 лет назад).

### **Рис.2. Сергей Владимирович Зонн**

(1906-2002)

российский учёный, специалист в области  
лесного почвоведения и истории почвоведения, географ,  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

## Определение «лесная подстилка»

Изучением лесных подстилок занимались многие исследователи: А. П. Сапожников, Кошельков, Л. Г. Богатырев, С.В.Зонн, Л.О. Карпачевский, И.Н. Степанов, Ремезов, Чертов, Шумаков и др.

**«Лесная подстилка** слой органического материала, на поверхности почвы, сформированный преимущественно из растительного опада и находящихся на разных стадиях разложения в зависимости от конкретных условий и времени его поступления на поверхность почвы, что и предопределяет его постепенную и последовательную гомогенизацию и расчлененность на генетические подгоризонты (в определенных условиях возможно формирование подстилок, не дифференцированных на подгоризонты)» (**А. П. Сапожников, 1984**).

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

## *Роль лесной подстилки*

- Лесная подстилка определяет характер гумуса образования и гумусонакопления в лесных почвах.
- Лесная подстилка - один из основных источников углекислоты, азотного питания, важное звено в биологическом круговороте веществ и энергии. В лесных подстилках содержится значительный запас элементов питания, достаточный для жизни насаждений в течение нескольких лет.
- Лесная подстилка является регулятором теплового режима. С одной стороны, она плохо проводит тепло из-за наличия в ней большого количества воздуха и влаги, а с другой - обладает и значительной теплоемкостью: снижает суточные колебания температуры, содействует сохранению тепла, уменьшает промерзание почв грунта.
- Подстилка обладает свойством удерживать значительное количество влаги, примерно в 1,5-2 раза больше своей массы. Она предохраняет минеральную часть почвы от смыва и размыва путем замедления скорости движения поверхностных вод и перевода их во внутрипочвенный сток.
- Слой почвы, покрытый подстилкой, защищает минеральную часть почвы от вредного влияния ультрафиолетовых лучей, губительно действующих на микроорганизмы, большая часть которых развивается в верхних почвенных слоях.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Морфология лесных подстилок.** В подстилкообразовании можно выделить следующие основные профилеобразующие процессы (по Л.Г. Богатыреву, 1990):

• **деструктивные** – разрушение растительного опада под воздействием биотических и абиотических факторов, приводящее к уменьшению размерности частиц в системе опад – нижележащие горизонты.

• **Ферментативные** – процесс, отражающий интенсивность микробиологической деятельности. Ферментативные процессы сопровождаются появлением темно-бурых, иногда черных тонов в подгоризонтах подстилки. Процесс ферментации может приводить как к образованию горизонта гумификации, так и к формированию перегнойного горизонта.

• **гумифицированные** – биохимические и физико-химические процессы превращения опада, в гумусовые вещества.

• **перегнойные** – процесс, в результате которого образуются первичные органоминеральные агрегаты (содержание которых может составлять 65-80%). Особенностью перегнойного процесса является наличие геохимических барьеров на пути вертикальной миграции водорастворимых продуктов, образующихся в процессе трансформации. В перегнойных горизонтах накопление лигнина и целлюлозы слабое.

• **торфянистые** – процессы, протекающие при избыточном увлажнении. Процессы разложения опада заторможены, что проявляется в профиле в виде бурых тонов.

• **торфяные** – процессы, протекающие в крайне гидроморфных условиях, в результате которых образуется торф.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

## Морфология лесных подстилок

Различная устойчивость компонентов к разложению, физические явления (иссушение–увлажнение; промораживание-оттаивание), избыточное увлажнение приводит к появлению гетерогенности подстилки, т.е. к появлению разнородности, **наличию неодинаковых соподчиненных частей (подгоризонтов) в подстилке**, которые хорошо диагностируются по морфологическим признакам.

**Основными морфологическими параметрами** лесной подстилки считают: **мощность, состав, строение**, прочность связи подстилки с почвой, степень покрытия почвы лесной подстилкой.

**Строение** – расчлененность на подгоризонты. Группировка подстилок по строению ее профиля: недифференцированные (однородная, отсутствуют подгоризонты); слабо дифференцированная (выделяют любые два горизонта); дифференцированная (состоит из трех подгоризонтов); сильно дифференцированная (одни из горизонтов, чаще ферментативный подгоризонт хорошо расчленяется на генетически неоднородные части).

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

*Мощность лесной подстилки* , см (Л.Г. Богатырев, 1990)

Очень маломощные	$< 5$
Маломощные	5—10
Среднемощные	10—20
Мощные	20—40
Сверхмощные	$> 20$

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Морфология лесных подстилок.** В сформировавшейся **автоморфной лесной подстилке выделяют подгоризонты:**

**$A_{01}$**  – **верхний слой свежего опада**, не затронутый процессами разложения и гумификации; Но листья и хвоя сохраняют свою форму и по ним можно определить даже их видовую принадлежность. В верхнем слое идет образование  $CO_2$ .

**$A_{02}$**  – **средний ферментативный слой** состоит из полуразложившихся остатков, во влажных и сырых сомкнутых лесах он пронизан мицелием грибов. Он сложен обломками листьев и хвои, в нем много гимнов грибов, много остатков листьев, на которых сохранились лишь прожилки. Подгоризонт называют ферментативным. В этом слое идет накопление азота.

**$A_{03}$**  – **нижний слой гумификации** - аморфная гумифицированная масса, органические вещества темно-серого, бурого или черного цвета. При активной деятельности роющей фауны нижний слой лесной подстилки может быть смешан с минеральными частицами нижележащей почвы. В этом подгоризонте формируется гумус, остаточные продукты минерализуются до  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$  и др.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Морфология лесных подстилок.** В лесной подстилке, сформировавшейся **в полугидроморфных**, выделяют **подгоризонты** (Л.Г. Богатырев, 1990):

**$A_{o1}$**  – – **верхний слой свежего опада**

**$A_{o2}$**  – **средний ферментативный слой**

**$A_{пер}$**  – **перегнойный**. В этом горизонте формируются преимущественно органо-минеральные агрегаты, содержание которых может составлять 65-85%. Одним из формальных признаков, который используется для подгоризонтов гумификации и перегнойных горизонтов, является сырая зольность, т.е. общее количество минеральных остатков после озоления при 450<sup>0</sup>С. При зольности 65-86% горизонты относят к перегнойным, при 35-65% - горизонтам гумификации.



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Морфология лесных подстилок.** В **оторфованной подстилке**, сформировавшейся **в гидроморфных условиях**, выделяют **следующие подгоризонты** (А.П. Сапожников, 1984, Т.Т. Ефремова, и др. 2015):

**$A_{от1}$**  – – **верхний слой свежего опада.** Растительные компоненты полностью сохранили морфологический облик, механически прочные. Единичны тонкие живые корни. Подгоризонт характеризуется низкой плотностью, слабой степенью разложения и нормальной зольностью. Часто отсутствует.

**$A_{от2}$**  – **ферментативный подгоризонт.** Подгоризонт бурой или темно-бурой окраски слабо и полуразложившийся с торфоподобным сложением и мицеллярно-ризоидной связностью. Возможно расчленение на несколько генетических неоднородных слоев по цвету и степени разложенности, например торфянисто-ферментативный, гумифицированно-ферментативные. Подгоризонт отличается от верхнего более высокой степенью разложения и зольностью.

**$A_{от3}$**  – **слоеватый торфоподобный подгоризонт** черный или буроватой окраски. Переход в минеральные горизонты ясный.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Классификация лесных подстилок.** Приоритет в классификации лесных подстилок как самостоятельного объекта принадлежит Н.Н. Степанову, который рассматривал их в качестве **надпочвенного образования**.

В зависимости от различий лесных насаждений, связанных с макро- и мезорельефом, почвенно-гидрологическими условиями, составом и структурой древостоев и насаждений, Н.Н. Степанов (Коновалов и др., 1979) **выделил следующие типы лесных подстилок (по характеристике напочвенного покрова):**

- мертвопокровный,
- моховой,
- кисличный,
- широколиственный
- сфагновый.

**Рис.3. И.Н. Степанов**

Institute for Biological Instrumentation, Russian Academy of  
Sciences  
Pedology Mountain Soils, Desert Soils, Soil Mapping Symmetry



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Мертвопокровная подстилка** формируется в сосняках на низкотрофных песчаных почвах, практически без живого напочвенного покрова, присутствуют лишь лишайники. Толщина их небольшая (1-2 см). Похожая подстилка может сформироваться в густых ельниках, в основном за счет хвои ели, поскольку живого напочвенного покрова там почти нет.



**Рис.4. Ельник мертвопокровный**

Источник: [plantarium.ru](http://plantarium.ru)



**Рис.5. Сосняк лишайниковый**

Источник: [lesnoy-dar.ru](http://lesnoy-dar.ru)



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Сфагновая подстилка** характерна для лесных насаждений с застойным увлажнением, где в живом напочвенном покрове большое развитие имеют сфагнум, кукушкин лен и другие мхи. Мощность их 3-5 см и более.



**Рис.6. Сфагновый тип лесной подстилки**

Источник: infourok.ru

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Остальные подстилки (кисличный, широколиственный)** , выделенные Н.Н. Степановым, имеют среднюю мощность, в значительной мере формируются за счет многовидового живого напочвенного покрова. Если мертвопокровная и сфагновая подстилки разлагаются медленно, то для остальных типов характерны более быстрое разложение и рыхлое строение.



**Рис.7. Широколиственный тип  
лесной подстилки**

Источник: panoramio.com



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

В практике современного лесоведения принята следующая классификация лесных подстилок, которая была предложена еще в 70-х годах XIX в. датским ученым Мюллером. В процессе использования номенклатура Мюллера претерпела некоторые изменения.

Выделяется **три группы подстилок по формам гумуса**:

- **Мор,**
- **Модер**
- **Муль**

**Рис.8. Петер Эразм Мюллер  
1840-1926**

Датский лесовод и почвовед. Наиболее значительный труд Мюллера, «Очерки о лесных почвах» Наряду с трудами В. В. Докучаева это сочинение стоит, по мнению специалистов, у истоков современного почвоведения.



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**К типу «мор»** относят подстилки у которых есть четко выраженных три подгоризонта. Данный тип подстилки характеризуется грубым гумусом (**грубогумусная лесная подстилка**) мощностью более 5 см, слабым разложением. Она в виде войлока, легко отделяемого от минерального слоя почвы. Биологическая активность подстилки низкая, червей, как правило, в ней нет, аэрация слабая, преобладает процесс аммонификации. Реакция среды у подстилки кислая (рН 3,5-4,5), преобладают фульвокислоты. Подстилка мор характерна для широт с недостатком тепла, в насаждениях на низкотрофных подзолистых почвах. Обычно такую подстилку формируют чистые насаждения со слаборазвитым живым напочвенным покровом или без него. Из хвойных пород в чистых насаждениях ель всегда формирует подстилку мор, чистые сосняки, пихтарники, кедровники также могут сформировать такую же подстилку.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

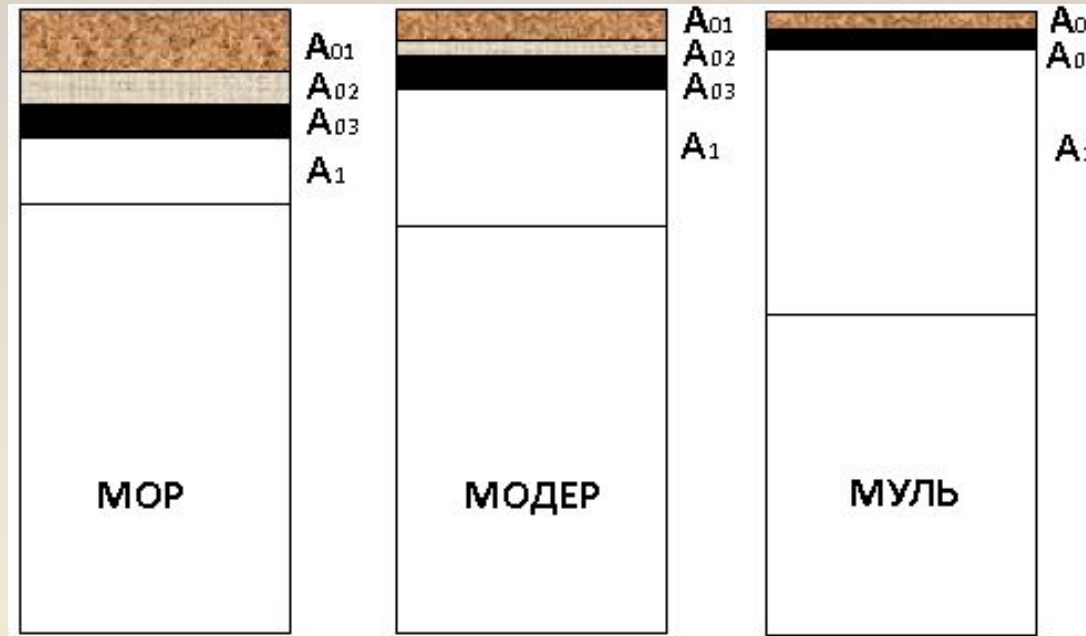
---

**К типу «муль»** относят подстилки у которых подгоризонты дифференцированы слабо, иногда видны только два подгоризонта –  $A_{01}$  и  $A_{03}$  а  $A_{02}$  отсутствует. Этот тип подстилки имеет небольшую мощность (1-2 см), хорошо и быстро разлагается, рыхлая, с хорошей аэрацией. Биологическая активность подстилки высокая, она насыщена живыми организмами, в азотном обмене преобладают процессы нитрификации, в гумусе доминируют гуминовые кислоты. Реакция среды слабокислая или нейтральная (рН 5,5-7). Подстилка муль характерна для более южных широт.

**К типу «модер»** относят подстилки у которых четко выражены подгоризонты  $A_{01}$  и  $A_{02}$ , а подгоризонт  $A_{03}$  выражен или фрагментарно или небольшой мощности, то ее относят к типу модер. Подстилка модер – средняя подстилка, занимает промежуточное положение по всем показателям между подстилками мор и муль.



# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.



$A_1$  – мощность больше у типа «муль», меньше у типа «модер» самая маленькая у типа «мор».

$A_{01}$  – мощность самая большая у тип « мор», меньше у типа «модер», самый маленькая у типа «муль»нет у муля.

$A_{02}$  – мощность больше у типа «мор», меньше у типа « модер», нет у типа «муль»

$A_{03}$  – мощность больше у типа «мор» и типа «модер», меньше у типа «муль», у типа «мор» и типа «модер» равна

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

---

**Богатырев Л.Г. (1990, 2004) предложил** морфолого-генетическую классификацию лесных подстилок на основе детального изучения их строения и с учетом важнейших профилеобразующих процессов.

**Тип лесной подстилки** характеризуется единством преобразования растительных остатков и однотипностью переходных к верхней минеральной части почв горизонтов подстилки.

**Подтип подстилки** – мощность гумусово-аккумулятивного горизонта.

**Род подстилки** – характер строения подстилки.

**Вид подстилки** – ее мощность.



**Рис.9. Лев Георгиевич Богатырев**  
доцент, кандидат биологических наук.  
лауреат премии им. М.В.Ломоносова (2003) и премии  
президента РФ в области образования (2003). Награжден  
медалью «В память 850-летия Москвы», юбилейным нагрудным  
знаком «250 лет МГУ им. М.В.Ломоносова». Соросовский  
доцент.

# 1. Поступление органических остатков. Подстилкообразование.

Таксономический ранг	Основные критерии	Номенклатура
Тип	Преобладающие процессы	Деструктивные Ферментативные Гумифицированные Перегнивающие Торфянистые Торфяные
Подтип	Мощность гумусового горизонта, см	Несопряженные <1 Слабосопряженные 1—5 Среднесопряженные 5—10 Сильносопряженные 10—20 Сверхсопряженные >20
Род	Строение подстилки	Примитивные Субпримитивные Сложные Полигенетические
Вид	Мощность подстилки, см	Очень маломощные <5 Маломощные 5—10 Среднемощные 10—20 Мощные 20—40 Сверхмощные >20
Подвид	Состав опада *	Хвойные Лиственные Моховые Травяные

\* В случае смешанного опада дается двойное название, причем преобладающая часть опада ставится на второе место.

## 2. Трансформация органических остатков.

**Трансформация (разложение, минерализация)** органических остатков – это процесс частичного или полного превращения неспецифических органических веществ в более простые, в том числе и в продукты полной минерализации ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др.). Первичный распад свежих органических остатков называется **разложением**. Процесс частичного или полного превращения сложноорганизованных структур и молекул органического вещества в более простые, в том числе и в продукты полного распада называется **минерализацией**.

Отмирая, все растительные и животные организмы подвергаются процессам разложения **до более простых соединений**, конечной стадией которых является полная минерализация органического вещества. Образовавшиеся **неорганические вещества используются растениями как элементы питания**. Другая часть продуктов разложения **потребляется самими микроорганизмами** (гетеротрофными) для синтеза вторичных белков, жиров, углеводов, образующих плазму новых поколений микроорганизмов, а после отмирания последних снова подвергается процессу разложения. Процесс временного удержания органического вещества в микробной клетке называется **микробным синтезом**. Часть продуктов разложения превращается в специфические сложные высокомолекулярные вещества – **гумусовые вещества**.

## 2. Трансформация органических остатков.

---

Трансформация остатков происходит в аэробных или анаэробных условиях в зависимости от водно-воздушного режима.

***В аэробных условиях*** при достаточном количестве влаги в почве, благоприятной температуре и свободном доступе  $O_2$  процесс разложения органических остатков развивается интенсивно при участии аэробных микроорганизмов. Наиболее оптимальными условиями являются температура 25 – 30 °С и влажность – 60 % от полной влагоемкости почвы. Но в этих же условиях быстро идет минерализация как промежуточных продуктов разложения, так и гумусовых веществ, поэтому в почве накапливается относительно мало гумуса, но много элементов зольного и азотного питания растений (в сероземах и других почвах субтропиков).

## 2. Трансформация органических остатков.

---

***В анаэробных условиях*** (при постоянном избытке влаги, а также при низких температурах, недостатке  $O_2$ ) процессы гумусообразования идут медленно при участии, главным образом, анаэробных микроорганизмов. При этом образуются много низкомолекулярных органических кислот и восстановленные газообразные продукты ( $CH_4$ ,  $H_2S$ ), угнетающие жизнедеятельность микроорганизмов. Процесс разложения постепенно затухает, и органические остатки превращаются в торф – массу слаборазложившихся и неразложившихся растительных остатков, частично сохранивших анатомическую структуру.

Наиболее благоприятны для накопления гумуса сочетание в почве аэробных и анаэробных условий с чередованием периодов иссушения и увлажнения. Такой режим характерен для черноземов.

## 2. Трансформация органических остатков.

---

Трансформация ***включает в себя:***

- физическое разрушение
- химическое разрушение
- биологические и биохимическое разрушение

## 2. Трансформация органических остатков.

---

**Физическое разрушение.** Под действием почвенной фауны растительные остатки измельчаются, раздробляются. В сотни и тысячи раз увеличенная в результате измельчения поверхность растительных остатков становится более доступной для дальнейшего разрушения микроорганизмами.

**Химическое разрушение.** В присутствии кислорода, углекислоты, воды и минеральных частиц почвы органические остатки разрушаются под действием собственных ферментов окисления – оксидаз, находящихся в клетках отмерших растений. Процессы окисления приводят к побурению и почернению растительных остатков.

**Биологические и биохимическое** разрушение. С помощью микроорганизмов, их ферментов подвергаются биохимической трансформации почти все органические соединения.

Преобразование опада протекает как **единый почвенный процесс**, подчиняющийся определенным **географическим закономерностям** и имеющий в каждой природной зоне свою специфику.



## 2. Трансформация органических остатков.

---

### ***Состав органических остатков:***

В элементарном составе органических остатков важнейшее место принадлежит 4 элементам: C, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, из которых состоит множество органических соединений.

Важнейшими органическими соединениями являются:

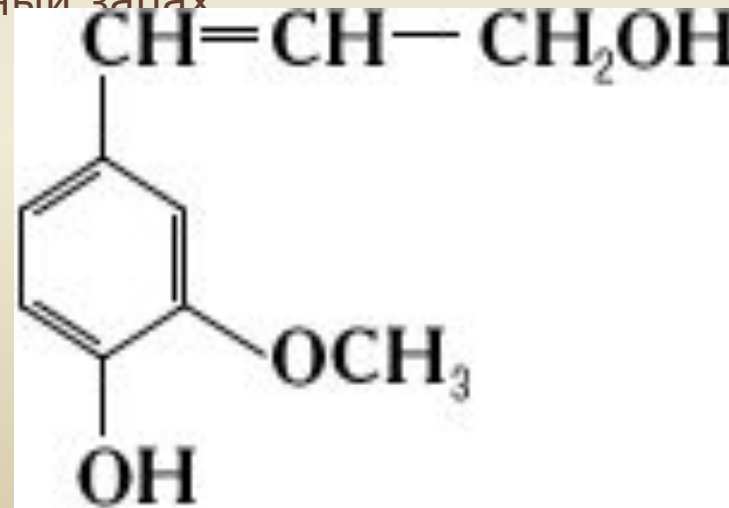
- **углеводы,**
- **лигнин,**
- **белки**
- жиры,
- **липиды**
- воск,
- смолы,
- дубильные вещества и др.

Эти вещества, которые присутствуют в почве в свободном виде или в составе более сложных веществ растительного и животного происхождения, но не входят в состав гумусовых кислот, называются неспецифическими органическими веществами.

## 2. Трансформация органических остатков.

**Лигнин** – вещество, характеризующее одревеневшие стенки растительных клеток. Это ароматическая часть древесинного вещества. С аналитической точки зрения лигнин рассматривают как ту часть древесины, которая получается в виде нерастворимого «негидролизуемого» остатка после удаления экстрактивных веществ и полного гидролиза полисахаридов концентрированной сильной минеральной кислотой. Лигнин — один из основных компонентов, отвечающих за ванильный аромат старых книг. Лигнин, как и древесная целлюлоза, разлагается со временем под действием окислительных процессов и придает старым книгам приятный запах.

Лигнин не является самостоятельным веществом, а представляет собой смесь ароматических полимеров родственного строения. Именно поэтому невозможно написать его структурную формулу. Элементарная формула  $C_{10}H_{10}O_3$ . Содержание его в растительных остатках достигает 30-40%. Характерной особенностью является наличие бензольного кольца, с углеродным атомам которых присоединяются гидроксильные (спирты), метаксидильные группы



## 2. Трансформация органических остатков.

---

**Углеводы** — органические вещества, содержащие карбонильную группу и несколько гидроксильных групп. Название класса соединений происходит от слов «гидраты углерода», оно было впервые предложено К. Шмидтом в 1844 году. Все углеводы состоят из отдельных «единиц», которыми являются сахараиды. В химическом отношении углеводы являются производными соответствующих многоатомных спиртов. В растениях углеводы образуются из двуокиси углерода и воды в процессе сложной реакции фотосинтеза, осуществляемой за счет солнечной энергии с участием зелёного пигмента растений - хлорофилла. углеводы подразделяются на моносахариды (глюкоза, фруктоза), дисахариды (сахароза, мальтоза) и полисахариды (крахмал, целлюлоза, гемицеллюлоза, пектины, агар-агар).

Соединения этого класса составляют около 80 % сухой массы растений и 2—3 % массы животных. Углеводы являются основным питательным и опорным материалом в клетках и тканях растений. Целлюлозу могут разлагать лишь около 5% микроорганизмов,



Рис.10. Общая формула углеводов

## 2. Трансформация органических остатков.

**Белки.** Молекулы белков имеют большие размеры, поэтому их называют макромолекулами. Белки отличаются друг от друга числом (от ста до нескольких тысяч), составом и последовательностью мономеров. Мономерами белков являются аминокислоты. Бесконечное разнообразие белков создается за счет различного сочетания всего 20 аминокислот. В состав аминокислот кроме углерода, кислорода, водорода и азота, может входить сера. Каждая аминокислота имеет свое название, особое строение и свойства. Через эти группы происходит соединение аминокислот при образовании белка.

**Аминокислоты** – полифункциональные соединения, содержащие, по меньшей мере, две химические группировки: амино- ( $-\text{NH}_2$ ) и карбоксильные ( $-\text{COOH}$ ) группы, способные реагировать друг с другом с образованием ковалентной пептидной (амидной) связи.

Молекулы белков могут иметь различные пространственные конфигурации, и в их строении различают четыре уровня структурной организации. Большинство белков имеют вид спирали или компактные шарики (глобулы).



Рис.11. Общая формула аминокислот

## 2. Трансформация органических остатков.

---

Преобразование органических остатков в гумус – сложный биохимический процесс, совершающийся в почве при непосредственном участии микроорганизмов, животных, кислорода воздуха и воды. В этом процессе главная и решающая роль принадлежит микроорганизмам, которые участвуют во всех этапах образования гумуса, чему способствует огромная населенность почв микрофлорой.

## 2. Трансформация органических остатков.

---

***Роль разных групп организмов в процессах трансформации органического вещества в почве.***

***Бактерии*** – (прокариоты) микроорганизмы, одноклеточные, имеющие сферическую или палочкообразную форму. Бактерии имеют узкий спектр ферментов, как бы специализируются в области узкого диапазона органических остатков. Бактерии активно участвуют в трансформации органического вещества во всех почвах. Они способны разлагать почти все органические соединения. Они в качестве источника пищи и энергии активно используют белок, простые сахара, крахмал, спирты и др.

***Актиномицеты*** – бактерии, имеющие способность к формированию ветвящегося мицелия. Основным морфологическим признаком актиномицетов является ветвящаяся форма клеток, имеющих вид коротких палочек или длинных нитевидных образований, напоминающих мицелий грибов и называемых поэтому гифами. Актиномицеты обладают некоторыми признаками, общими как с бактериями, так и с грибами. Актиномицеты также активно участвуют в разложении органических соединений. Они могут использовать любые углеводы, могут разрывать длинные цепи жирных кислот и углеводородов.

## 2. Трансформация органических остатков.

---

**Микроскопические грибы** – эукариотические микроорганизмы, отличающиеся от бактерий и актиномицетов более сложным строением. Вегетативное тело их обычно представлено сложным многоклеточным мицелием с хорошо выраженными клеточными ядрами. Микроскопические грибы размножаются как вегетативно, так и спорами. Грибы состоят из множества клеток, которые образуют длинные нити волокон, называемые гифами. Грибы обладают большим спектром ферментов, способны совершать многие процессы трансформации органического вещества. Разложение лигнина, ароматических соединений в природе идёт преимущественно под влиянием микроскопических грибов.

**Почвенная фауна.** Подразделяется на микрофауну (ногохвостки, клещи, нематоды); мезофауну (мокрица, насекомые, пауки, многоножки, моллюски); макрофауну (дождевые черви, крупные насекомые); мегафауну (кроты, ящерицы, мыши, змеи). Выполняют серию сложных функций в разложении органического вещества, осуществляя физическое измельчение растительных остатков. В их ротовой полости идёт мацерация растительных тканей, что вызывает распад клеточных структур, обогащая их микрофлорой. Экскременты почвенной фауны образуют локусы биологической активности.

## 2. Трансформация органических остатков.

Почвенные бактерии и грибы **выделяют ферменты**, обеспечивающие трансформацию веществ, содержащих все известные макроэлементы питания – азот, углерод, фосфор. Кроме того, микроорганизмы синтезируют те ферменты, без которых невозможна трансформация органического вещества в почве. Микробные трансформации осуществляются одним или несколькими ферментами.

Микробная трансформация проявляется как в образовании соединений, которые далее не используются данным микроорганизмом, так и во временном накоплении промежуточных продуктов в процессе использования различных органических соединений в качестве ростовых субстратов. Такую микробную трансформацию называют ферментативной.

Катализируемая однокомпонентным ферментом реакция начинается со связывания субстрата с ферментом в определенном участке его — активном центре. Образуется комплекс *фермент — субстрат*. По окончании реакции образовавшийся комплекс фермента с продуктами реакции распадается, и при этом освобождаются исходный фермент и конечные продукты ферментативного процесса.

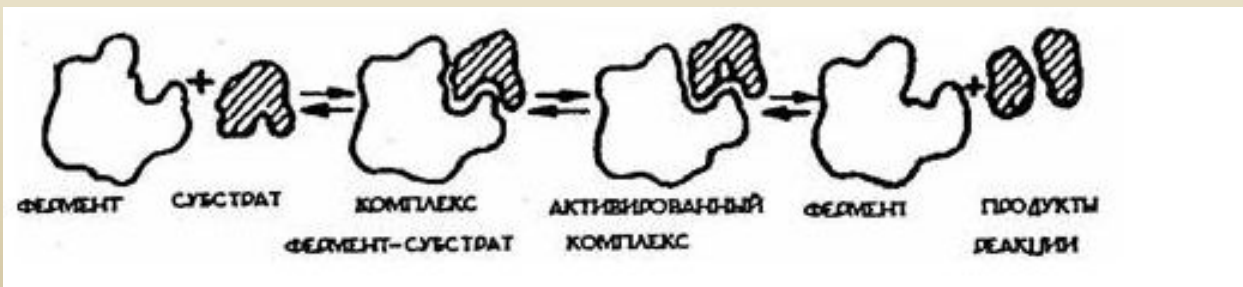


Рис. Схема взаимодействия фермента с субстратом



## 2. Трансформация органических остатков.

---

***Таким образом, участие почвообитающих животных в разложении растительных остатков сводится к следующему:***

- размельчение растительных тканей, которые благодаря этому становятся более доступными для микроорганизмов;
- расщепление некоторых клеточных включений и целлюлозных компонентов клеточных стенок с помощью ферментов;
- соединение образующегося в кишечнике аммиака с лигнином, что имеет большое значение для гумификации разлагающегося материала;
- частичная минерализация и частичная гумификация растительного материала;
- перемещение растительных остатков в более глубокие горизонты и перемешивание их с минеральными частицами;
- стимуляция развития почвенной микрофлоры и распространение микроорганизмов в подстилке и почвенном профиле.

### 3. Гумификация.

---

**Гумификация** — сложный биофизико-химический процесс трансформации промежуточных высокомолекулярных продуктов разложения органических остатков в особый класс органические соединения — гумусовые кислоты (Л.Н. Александрова).



**Рис.12. Людмила Николаевна Александрова  
18.08.1908–11.07.1983**

крупнейший исследователь органического вещества почв, Почетный член Международного Общества почвоведов, Почетный член Докучаевского Общества почвоведов, лауреат Государственной премии СССР, доктор с.-х. наук, профессор, заведующая кафедрой почвоведения (1948-1978 гг.) Ленинградского сельскохозяйственного института (ныне Санкт-Петербургского государственного аграрного университета), одна из создателей Ленинградской научной школы по изучению гумуса почв

# 3. Гумификация.

---

## Гипотезы образования гумусовых веществ

Процесс образования *специфических органических веществ - гумусовых веществ* в результате трансформации органических остатков называют процессом гумификацией.

Гипотезы образования гумусовых веществ или механизмов гумификации:

- 1.конденсационная** (А.Г.Трусков, М.М.Кононова);
- 2.биохимического окисления** (Л.Н. Александровой);
- 3.фрагментарного обновления** (А.Д.Фокина);
- 4.кинетическая** (Д.С. Орлов).

### 3. Гумификация.

---

**Конденсационная гипотеза**, которую описала **М.М. Кононова**, исходя из теоретических построений И.В. Тюрина. Процесс гумификации, согласно этой теории, протекает в две стадии – разложение органических остатков **до мономеров**, промежуточных продуктов разложения (таких как аминокислот, фенолов, пептидов и др.), а затем **происходит их конденсация и полимеризация, ведущая к образованию гумусовых веществ**. Конденсация – биохимический процесс, который протекает с участием ферментов микроорганизмов, а полимеризация – химический процесс, представляющий собой взаимодействие гумусовых веществ с твёрдой фазой почвы. Специфической реакцией гумификации является конденсация фенольных соединений с аминокислотами и пептидами.



**Рис.13. Мария Михайловна Кононова  
(1898 – 1979)**

советский учёный, специалист в области изучения органического вещества почв. Доктор биологических наук, лауреат Государственной премии СССР (1968).

### 3. Гумификация.

---

**Конденсация** — реакция образования больших молекул из молекул с меньшей молекулярной массой, протекающая с отщеплением (или перемещением) атомов или атомных групп; например, продуктом конденсации фенола с формальдегидом являются фенолформальдегидные смолы.

**Полимеризация** - процесс образования высокомолекулярного вещества (полимера) путём многократного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера, олигомера) к активным центрам в растущей молекуле полимера. Молекула мономера, входящая в состав полимера, образует так называемое мономерное (структурное) звено. Элементный состав (молекулярные формулы) мономера и полимера приблизительно одинаков. Обычно мономерами являются соединения, содержащие кратные связи, которые способны, раскрываясь, образовывать новые связи с другими молекулами, обеспечивая рост цепей.

### 3. Гумификация.

**Гипотеза биохимического окисления** (по **Л.Н. Александровой**). Согласно этой теории, гумификация состоит из нескольких этапов. Начальный этап процесса гумификации – **биохимическое окислительное новообразование гумусовых веществ** (кислотообразование), которые подвергаются в дальнейшем длительным процессам трансформации. Эти процессы, по мнению автора, осуществляются при непосредственном участии оксидаз микроорганизмов, роль которых показана М.М. Кононовой. На других стадиях гумификации происходит **формирование азотистой части молекул, фракционирование и дальнейшая трансформация новообразованных гумусовых кислот** (их дальнейшая ароматизация и гидролитическое расщепление, сорбция, конденсация), а также процессы **взаимодействия с минеральной частью почвы**. Согласно, Л.Н. Александровой, процессу окислительного кислотообразования подвергаются не мономеры, а высокомолекулярные продукты разложения растительных остатков, и поэтому гуминовые кислоты с первых этапов своего существования представляют собой высокомолекулярные соединения. Азотистая часть молекул формируется не в результате конденсации фенолов с аминокислотами, а при гумификации растительных остатков, содержащих белки.

### 3. Гумификация.

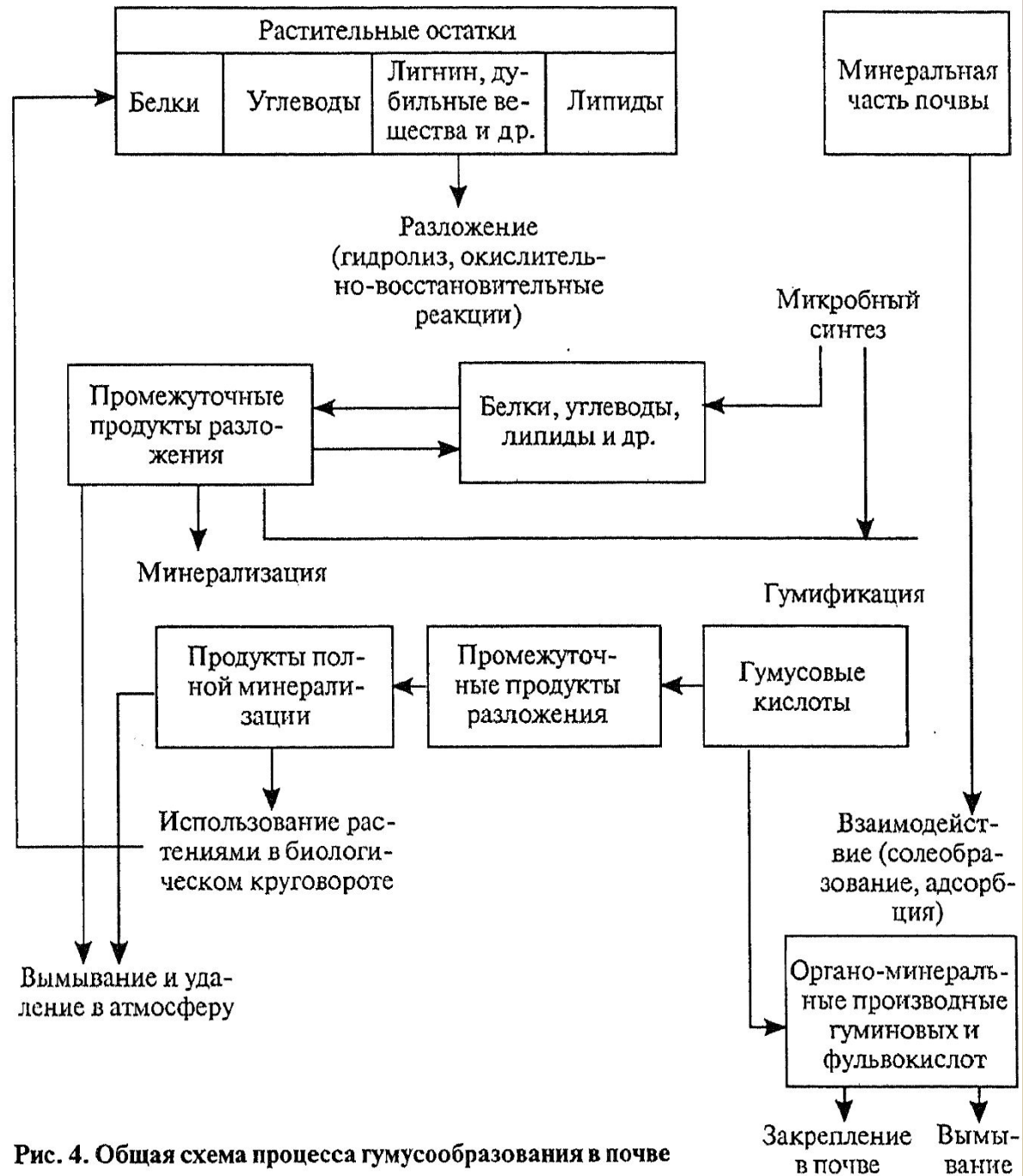


Рис. 4. Общая схема процесса гумусообразования в почве

### 3. Гумификация.

---

**Гипотеза фрагментарного обновления гумуса** принадлежит **А.Д. Фокину**. Суть состоит в том, что продукты разложения не формируют целиком гумусовую молекулу, а в результате конденсации сначала включаются в периферические фрагменты уже сформированных молекул, затем образуют более устойчивые циклические структуры. Поэтому атомный и фрагментарный состав почвенного гумуса постоянно обновляется за счет новых поступлений органического материала. При этом, периферические фрагменты гуминовых кислот обновляются в несколько раз быстрее, чем ядерные. Гипотеза фрагментарного обновления гумуса хорошо объясняет роль свежего растительного вещества (зеленые удобрения) и органических удобрений (навоз, компосты) в повышении запасов гумуса в почве.



### 3. Гумификация.

---

**Кинетическая гипотеза (Орлов Д.С.).** предположил, что существует единый механизм формирования гуминовых кислот и фульвокислот. Возможно два пути преобразования органических остатков. В основе этой теории лежит принцип «отбора» наиболее устойчивых органических соединений в процессе гумификации. Глубина гумификации – это степень преобразования органических остатков в гумусовые вещества и характеризуется соотношением  $C_{ГК}:C_{ФК}$ . Глубина гумификации определяется биологической активностью почвы, т.е. скоростью переработки органического материала. В почвах с повышенной биологической активностью (черноземы) следует ожидать преобладания первого пути: распад органических остатков до мономеров и их последующая полимеризация. В почвах с пониженной биологической активностью (подзолистые, дерново-подзолистые) глубокого распада органических остатков не происходит.

### 3. Гумификация.

---

**Гумусовые вещества** – это сложные смеси устойчивых к биодеструкции высокомолекулярных темноокрашенных органических соединений природного происхождения, образующихся при разложении растительных и животных остатков под действием микроорганизмов и абиотических факторов среды.



**Рис.14. Гуминовая кислота**

Источник: in.all.biz

# 3. Гумификация.

---

Общепринятая классификация гумусовых веществ основана на различии в растворимости в кислотах и щелочах. Согласно этой классификации **гумусовые вещества подразделяют на три составляющие:**

- **гумин** – неизвлекаемый остаток, нерастворимый ни в щелочах, ни в кислотах, ни в воде;
- **гуминовые кислоты (ГК)** – это нерастворимые в воде, минеральных и органических кислотах темноокрашенные высокомолекулярные азотсодержащие вещества. Они хорошо растворяются в щелочах с образованием коллоидных растворов темно-вишневой или коричнево-черной окраски.;
- **фульвокислоты (ФК)** – это группа гумусовых веществ, остающаяся в растворе после осаждения гуминовых кислот. Это также высокомолекулярные органические азотсодержащие кислоты, в которых в отличие от гумусовых кислот содержится меньше углерода, но больше кислорода и водорода. Имеют светлую окраску (желтую, оранжевую), хорошо растворимы в воде.

В качестве обобщающего названия, обозначающего как гуминовые, так и фульвокислоты, применяют термин "гумусовые кислоты". Гумусовые кислоты являются наиболее подвижной и реакционноспособной компонентой гумусовых веществ, активно участвующей в химических процессах, протекающих в экосистемах.

### 3. Гумификация.

---

**Гуминовые кислоты.** При взаимодействии с катионами металлов гуминовые кислоты образуют соли – гуматы. Гуматы одновалентных металлов хорошо растворимы в воде и вымываются из почвы, а гуматы двух- и трехвалентных металлов в воде не растворяются и хорошо закрепляются в почвах. Средняя молекулярная масса гуминовых кислот равна 1400. Они содержат С – 52 – 62 %, Н – 2,8 – 6,6 %, О – 31 – 40 %, N – 2 – 6 % (по массе). Основные компоненты молекулы гуминовой кислоты – ядро, боковые цепи и периферические функциональные группы. Ядро гуминовых веществ состоит из ряда ароматических циклических колец. Боковыми цепями могут быть углеводные, аминокислотные и другие цепочки. Функциональные группы представлены несколькими карбоксильными ( $-\text{COOH}$ ) и фенолгидроксильными группами, которые играют важную роль в почвообразовании, так как обуславливают процессы взаимодействия гуминовых кислот с минеральной частью почвы. Гуминовые кислоты составляют наиболее ценную часть гумуса, они увеличивают поглощательную способность почвы, способствуют накоплению элементов почвенного плодородия и образованию водопроходной структуры.

### 3. Гумификация.

---

**Фульвокислоты.** Соли (фульваты) также растворимы в воде и слабо закрепляются в почве. Фульвокислоты обладают сильноокислой реакцией, энергично разрушают минеральную часть почвы, вызывая развитие почвенного подзолистого процесса. Фульвокислоты более светлые по окраске, чем гуминовые кислоты, в них содержится меньшее количество углерода, хорошо растворяются в воде. С катионами натрия, магния, калия и т.д. образуют соли, хорошо растворяющиеся в воде. Ионами кальция и бария в сильнощелочной среде ( $\text{pH} > 10$ ) часть ФК может осаждаться. С трёхвалентными катионами ФК, в зависимости от условий, при которых протекает реакция, могут или выпадать в осадок, или образовывать водорастворимые комплексные соединения. Кононова (1960) указывает, что фульвокислоты можно рассматривать как начальные формы гумусовых кислот или продукты их разложения.

### 3. Гумификация.

---

**Гумин** – это часть гумусовых веществ, которые не растворяются ни в одном растворителе, представлены комплексом органических веществ (гуминовые кислоты, фульвокислоты и их органо-минеральные производные, например, целлюлоза, хитин, лигнин, углистые частицы и др.), прочно связанных с минеральной частью почвы. Это инертная часть почвенного гумуса.

### 3. Гумификация.

---

Соотношение между гуминовыми кислотами и фульвокислотами в разных почвах неодинаково. В зависимости от этого показателя ( $C_{ГК} : C_{ФК}$ ) различают **следующие типы гумуса** (по Орлову Д.С., 1978):

- **гуматный ( $> 2$ ),**
- **гуматно-фульватный ( $0,5-1$ ),**
- **фульватно-гуматный ( $1 - 2$ ),**
- **фульватный ( $< 0,5$ ).**

Качество гумуса, плодородие почвы зависят от преобладания той или иной группы. К северу и к югу от черноземов содержание гуминовых кислот в почвах уменьшается. Относительно высокое содержание фульвокислот наблюдается в гумусе подзолистых почв и красноземов. Можно сказать, что условия, благоприятствующие накоплению гумуса в почвах, способствуют и накоплению устойчивой и наиболее агрономически ценной его части – гуминовых кислот. Соотношение  $C_{ГК} : C_{ФК}$  имеет наибольшее значение ( $1,5 - 2,5$ ) в гумусе черноземов, снижаясь к северу и к югу от зоны этих почв. При интенсивном использовании пахотных земель без достаточного внесения органических удобрений наблюдается снижение как общего содержания гумуса (дегумификация), так и гуминовых кислот.

## 4. Образование органо-минеральных соединений.

---

Органические вещества активно взаимодействуют с минеральной частью почвы. По характеру взаимодействия можно выделить **три группы органо-минеральных соединений**.

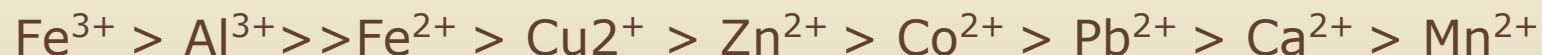
• **Первую группу** составляют соли органических неспецифических кислот (щавелевая, муравьиная, лимонная, уксусная и др.) и гумусовых специфических кислот **с катионами щелочных и щелочно-земельных металлов**. Механизм образования **гуматов** заключается в обменной реакции между водородом кислых функциональных групп гумусовых кислот, способных к обменным реакциям в условиях данной реакции почв, и катионами. В образовании гуматов принимают участие зольные элементы растений, освобождающиеся при разложении, простые соли, находящиеся в почвенном растворе, обменные катионы диффузного слоя почвенных коллоидов и основания, входящие в состав кристаллических решеток первичных и вторичных минералов и способные к обмену.



# 1. Органоминеральные соединения.

---

- **Вторую группу** образуют комплексные соли, которые синтезируются при взаимодействии неспецифических органических кислот и гумусовых кислот с поливалентными металлами (**железом, алюминием, медью, цинком, никелем**). Гумусовые кислоты склонны образовывать комплексные соединения со всеми переходными металлами, находящимися в почве в виде микроэлементов или поступающими с антропогенными выбросами. По способности образовывать соединения с гуминовыми веществами катионы располагаются в ряд:



## 4. Образование органо-минеральных соединений.

---

- **Третью группу** составляют сорбционные комплексы. Под сорбционными комплексами понимают продукты взаимодействия гуминовых кислот с кристаллическими и аморфными минералами почв или органо-минеральные продукты поглощения гумусовых веществ минералами. Их называют также глино-гумусными комплексами или минералоорганическими соединениями. Образование таких комплексов возможно как за счет межмолекулярных связей (физическая адсорбция), так и ионных или координационных связей (хемо- сорбция).

## 5. Иммобилизация органо-минеральных соединений.

---

**Иммобилизация органического вещества и органо-минеральных соединений** – это процессы, действующие на различных биогеохимических барьерах и приводящие к осаждению этих веществ из почвенных растворов, сорбции минеральной части почвы и их закреплению. Факторы, вызывающие осаждение:

- Надмерзлотное осаждение (тундры, северная тайга)
- Коагуляция от действия криогенных процессов (обезвоживание)
- Насыщенность основаниями (катионами) почвенного раствора
- Насыщенность полуторных окислов железа и алюминия почвенного раствора. Способностью осаждают органо-минеральные коллоиды обладают ионы не только Са, но и полуторных окислов, однако у последних она значительно ниже, в силу того, что они обладают меньшей растворимостью, а часть их, как правило, расходуется на связи в минералах.
- Изменение окислительно-восстановительных условий в пределах почвенного профиля (растворимы в воде органо-минеральные комплексы двухвалентного железа)

## 6. Значение гумуса почвы.

---

Накопление гумуса является результатом почвообразовательного процесса, одновременно сами гумусовые вещества оказывают большое влияние на дальнейшее направление процесса почвообразования и свойства почвы. **Функции гумуса в почве очень разнообразны:**

- формирование специфического почвенного профиля (с горизонтом А), образование структуры почв, улучшение водно-физических свойств почвы, увеличение поглотительной способности и буферности почв;
- источник минеральных элементов питания для растений (N, P, K, Ca, Mg, S, микроэлементы), источник органического питания гетеротрофных почвенных организмов, источник CO<sub>2</sub> в приземном слое атмосферы и биологически активных соединений в почве, что непосредственно стимулирует рост и развитие растений, мобилизует элементы питания, влияет на биологическую активность почвы;
- выполняет санитарно-защитные функции – ускоряет разрушение пестицидов, закрепляет загрязняющие вещества, снижая поступление их в растения.

## 7. Гумусное состояние почв.

---

**Гумусное состояние почв** – совокупность морфологических признаков, общих запасов, свойств органического вещества и процессов его создания, трансформации, миграции в почвенном профиле.

**По содержанию гумуса почвы условно делятся на (%)**

- безгумусные	менее 1
- очень низкогумусные	1-2
- низкогумусные	2-4
- среднегумусные	4-6
- высокогумусные	6-10
- очень высокогумусные (тучные)	10-15
- перегнойные	15-30
- торфяные	30