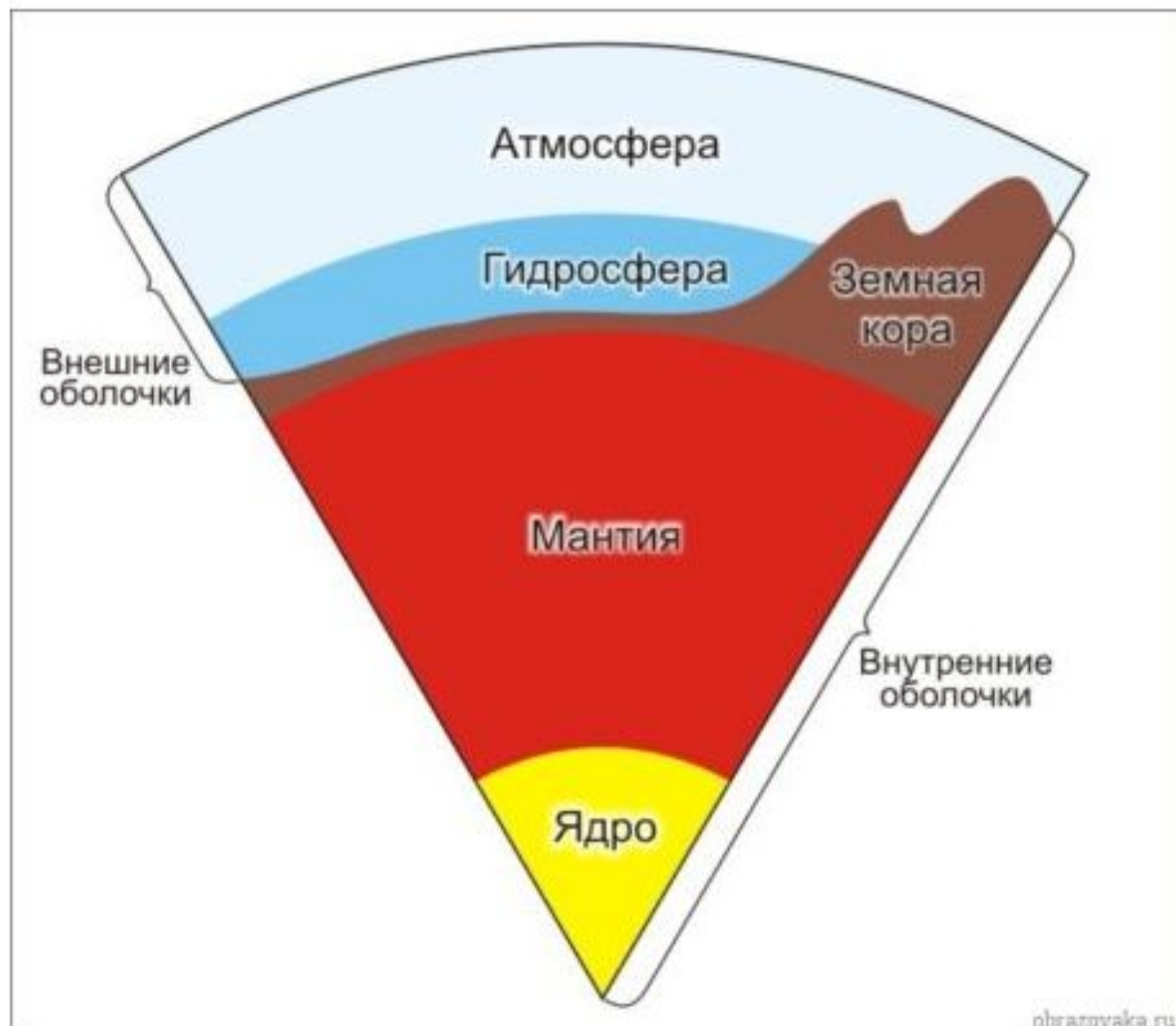


Строение литосферы.  
Структура земной коры. Почва.  
Образование почвенного слоя.  
Элементарный и фазовый  
состав почв. Гумус. Состав и  
свойства гумусовых веществ

Буйновская Е, Любчак Е, Танатов А.

# Общая характеристика

- Литосфера граничит с гидросферой и атмосферой вверху, и с астеносферой внизу. Толщина этой оболочки значительно варьирует и составляет от 10 до 200 км. на разных участках планеты. На континентах литосфера толще, чем в океанах. Литосфера не представляет собой единое целое – она образована отдельными плитами, которые лежат на астеносфере и постепенно передвигаются по ней. Выделяют семь крупных литосферных плит и несколько маленьких. Границы между ними являются зонами сейсмической активности. На территории России соединяются две такие плиты – Евразийская и Североамериканская. Строение литосферы Земли представлено тремя слоями:
  - земная кора;
  - пограничный слой;
  - верхняя мантия.



# Земная кора

- Это верхний и самый тонкий слой литосферы. Его масса составляет всего 1% от массы Земли. Толщина земной коры варьирует от 30 до 80 км. Меньшая толщина наблюдается на равнинных территориях, большая – на горных. Различают два типа земной коры – материковая и океаническая.

Материковая кора состоит из трех слоев:

- **осадочный** – образован осадочными и вулканическими породами;
- **гранитный** – образован метаморфическими горными породами (кварц, полевой шпат);
- **базальтовый** – представлен магматическими породами.



Рис. 2. Слои океанической и континентальной земной коры

Земная кора содержит все известные минералы, металлы и химические вещества в разных количествах. Самые распространенные элементы:

- кислород;
- железо;
- кремний;
- магний;
- натрий;
- кальций;
- калий.

# Почва

- **Почва** (определение по ГОСТ 27593-88) — самостоятельное естественноисторическое органоминеральное природное тело, возникшее на поверхности Земли в результате длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, состоящее из твёрдых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия



# Элементный состав почв

- **Элементным составом почв называют набор и количественное соотношение химических элементов в почвенной массе.**
- **Элементный состав отражает многие наиболее важные итоги почвообразовательного процесса.** По элементному составу различают генетические горизонты почв: в частности перегнойно-аккумулятивные горизонты отличаются повышенным содержанием углерода, фосфора, азота; в элювиальных горизонтах повышено содержание кремния и понижено содержание многих других элементов; в иллювиальных горизонтах накапливаются железо, алюминий и ряд других элементов.
- **Элементный состав дает представление о потенциальном плодородии почв.** Высокое содержание углерода органических соединений и азота обычно считают признаком плодородной почвы. Высокий уровень накопления хлора – показатель неблагоприятных для растений условий. Конечно, растениям доступна только часть находящихся в почве элементов питания. Элементы, входящие в кристаллические решетки алюмосиликатов, в состав труднорастворимых соединений или в состав негидролизуемых компонентов гумусовых веществ, становятся доступными растениям после их полной мобилизации, т.е. после полного или частичного разрушения исходной структуры и перехода элемента в форму растворимого соединения. Тем не менее валовое содержание, или запасы элемента, показывают, как долго та или иная почва потенциально может обеспечивать растения при условии полной мобилизации запасов.

- **Большой набор элементов – первая отличительная особенность почв. Вторая особенность заключается в сочетании высокого содержания углерода и кремни, что отражает взаимное влияние двух факторов почвообразования: растительного и животного мира, с одной стороны, и почвообразующих пород – с другой. Третья особенность - большой диапазон концентраций, охватывающий 4-5 порядков и даже достигающий 9-10 порядков.**
- По абсолютному содержанию в почвах все элементы могут быть объединены в несколько групп. В первую группу следует отнести кислород и кремний, содержание которых составляет десятки процентов. Вторая группа включает элементы, содержание которых в почве меняется от десятых долей до нескольких процентов: это Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, S. Первые две группы – типичные макроэлементы. В третью группу входят Ti, Mn, N, P, Si, H, концентрации которых измеряются десятими и сотыми долями %. Они составляют переходную группу. Микро- и ультрамикроэлементы содержатся в почвах в количестве  $10^{-3} \dots 10^{-10}\%$ ; к ним можно отнести все остальные элементы, встречающиеся в почвах: Ba, Sr, Cu, Cr и т. д.
- Почвы различного механического состава значительно отличаются друг от друга, особенно по содержанию Si, Al, Fe, щелочных и щелочноземельных металлов. В легких почвах повышена концентрация кремния – основную массу составляет  $SiO_2$ . По сравнению со средним содержанием пород почвы обогащены C, N, P, S, т. е. биогенными элементами, накапливающимися в результате деятельности живых организмов. Si, Al, Fe, Mg, K, Na практически унаследованы почвами от почвообразующей породы.

# Фазовый состав

- Фазой называют совокупность всех гомогенных частей системы, одинаковых во всех точках по составу и по всем физико-химическим свойствам и отграниченных от других частей системы некоторой видимой поверхностью (поверхностью раздела).
- Почва представляет собой многофазную систему. Она состоит из твердых частиц, воды (почвенного раствора) и почвенного воздуха. Если почвенный раствор и почвенный воздух можно считать отдельными фазами почвы, то твердые частицы нельзя считать отдельной фазой. Общее число твердых фаз в почве может быть очень велико. Отдельные фазы составляют совокупности частиц кварца, слюд, обломков полевых шпатов или обломков кристаллов каолинита и т.д. Особыми фазами представлены скопления труднорастворимых или растворимых солей, оксидов, гидроксидов. Одинаковые по составу, но различные по кристаллическому строению вещества образуют отдельные фазы. Так, карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  может быть представлен кристаллами кальцита или арагонита.

- Фазовый состав почвы не тождествен вещественному составу почвы. Число фаз может быть больше числа веществ, составляющих почву (явление полиморфизма), и наоборот – число фаз может быть меньше числа составляющих веществ, например в почвенном растворе.
- На долю твердых частиц приходится 40-65% объема почвы. Объем почвенного раствора может изменяться в широком диапазоне. До 35% объема почвы обычно занимает почвенный воздух. Для типичных почв характерно следующее соотношение объемов твердых частиц, жидкой и газообразной фаз:
- **Т : Ж : Г = 2 : 1 : 1.**
- 95% твердых частиц типичной плодородной почвы состоят из неорганических соединений и 5% - из органических. Некоторые виды почв, например торфяные, содержат иногда более 95% органических соединений, тогда как в так называемых «бедных» почвах содержание органических веществ может быть менее 1%.

- Почвенный раствор – это жидкая фаза почвы, существующая в природных условиях. Состав почвенного раствора меняется в очень широких пределах. В незасоленных почвах в почвенном растворе содержится от десятых долей до нескольких г/л, или примерно от 5-7 до 100-150 ммоль/л катионов и анионов. Наиболее типичными компонентами почвенных растворов, концентрации которых значительно превосходят концентрации других катионов и анионов являются катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$  и анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{Cl}^-$ . При изменении влажности почвы концентрация отдельных ионов меняется по различным законам. Так, концентрации ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  возрастают пропорционально влажности почвы, а концентрация фосфат-иона, обусловленная произведением растворимости фосфатов, почти не изменяется.
- Почвенный воздух отличается от атмосферного более высоким содержанием  $\text{CO}_2$  (обычно от 0,1 до 2-3%), а в торфяных почвах на глубине 20-30 см концентрация  $\text{CO}_2$  достигает 10-12% об. Содержание кислорода в воздухе верхнего слоя почвы (толщиной 20 см) на 0,5-1,5% ниже его концентрации в атмосферном воздухе. В почвенном воздухе могут содержаться  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и органические летучие соединения (углеводороды, спирты, эфиры, альдегиды).

# Гумус

- **ГУМУС** – часть органического вещества почвы, представленная совокупностью специфических и неспецифических органических веществ почвы, за исключением соединений, входящих в состав живых организмов и их остатков.
- Следовательно, гумус составляют индивидуальные органические соединения, находящиеся в форме органоминеральных образований.

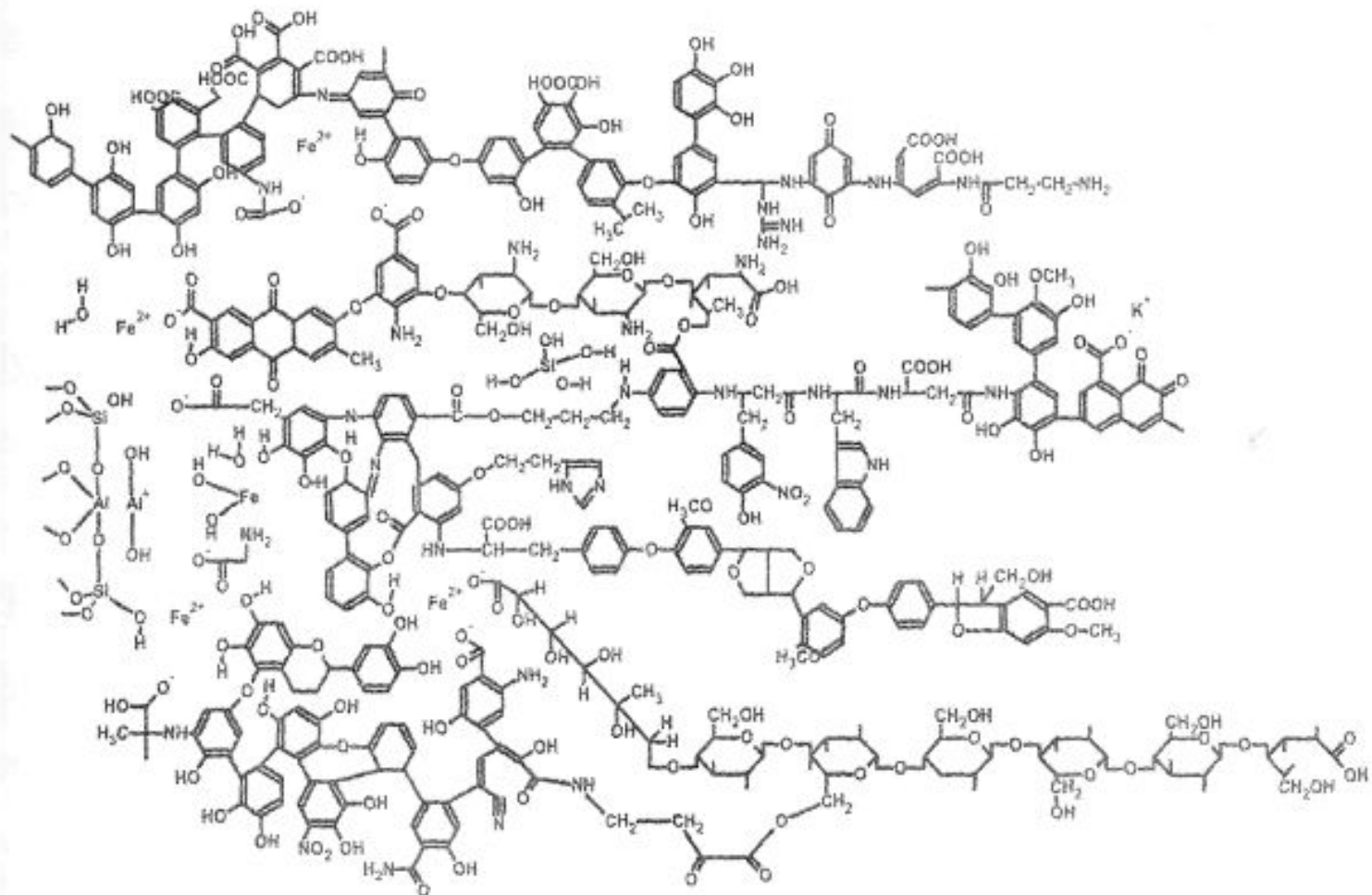


Рис. 2. Гипотетический структурный фрагмент гумусовых кислот почв по Кляйнхемпелю [24].

- В составе гумуса выделяют три группы соединений: специфические гумусовые вещества, неспецифические органические соединения и промежуточные продукты распада и гумификации.
- Третья группа включает в себя продукты частичного разложения органических остатков, которые по сумме признаков еще не могут быть отнесены к специфическим гумусовым веществам, но уже не являются веществами, характерными для живых организмов. Специфические вещества и неспецифические гумусовые соединения образуются в результате протекания процессов образования почв. Поэтому их содержание и состав полностью определяется условиями почвообразования.



- **Неспецифические гумусовые соединения синтезируются в живых организмах и поступают в почву в составе растительных и животных остатков. Специфические гумусовые вещества образуются непосредственно в почве в результате протекания процессов гумификации.** Среди них выделяют гуминовые вещества, гумусовые кислоты и гумин.
- **ГУМИН**, или негидролизруемый остаток – это та часть органического вещества почвы, которая нерастворима в кислотах, щелочах и органических растворителях.
- Прогуминовые вещества сходны с промежуточными продуктами распада органических остатков. Их присутствие обнаруживается при детальном фракционировании выделенных из почвы препаратов.

- **ГУМУСОВЫЕ КИСЛОТЫ** – класс высокомолекулярных азотсодержащих оксикислот с ароматическим ядром, входящим в состав гумуса и образующимся в процессе гумификации.
- На основании различной растворимости в воде, кислотах и щелоча, а также спирте гумусовые кислоты подразделяют на гуминовые кислоты(ГК), гиматомелановые и фульвокислоты(ФК).
- **Гуминовые кислоты** – группа темноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и не растворимых в кислотах.
- **Гиматомелановые кислоты** – группа гумусовых кислот, растворимых в этаноле.
- **Фульвокислоты** – группа гумусовых кислот, растворимых в воде, щелочах и кислотах.
- В составе гумуса входят вещества известного строения (липиды, углеводы, лигнин, флавоноиды, пигменты, воск, смолы и т. д.), составляющие до 10—15 % всего гумуса

- Гумусовые кислоты не имеют определённой формулы и представляют собой целый класс высокомолекулярных соединений. В советском и российском почвоведении они традиционно разделяются на гуминовые и фульвокислоты.
- Элементный состав гуминовых кислот (по массе): 46—62 % C, 3—6 % N, 3—5 % H, 32—38 % O.
- Состав фульвокислот: 36—44 % C, 3—4,5 % N, 3—5 % H, 45-50 % O.
- В обоих соединениях присутствуют также сера (от 0,1 до 1,2 %), фосфор (сотые и десятые доли %). Молекулярные массы для гуминовых кислот составляют 20-80 кДа (минимальная 5 кДа, максимальная 650 кДа), для фульвокислот 4-15 кДа (Атомная единица массы — это величина, обратная числу Авогадро, то есть  $1/N_A$  г. Такой выбор атомной единицы массы удобен тем, что молярная масса данного элемента, выраженная в граммах на моль, в точности совпадает с массой этого элемента, выраженной в а. е. м.)
- Фульвокислоты подвижнее, растворимы на всём диапазоне pH (гуминовые выпадают в осадок в кислой среде). Отношение углерода гуминовых и фульвокислот ( $C_{гк}/C_{фк}$ ) является важным показателем гумусового состояния почв.

# Углеводы

- Общее содержание углеводных компонентов в почвах колеблется от 5-7 до 25-30% от общего количества органических веществ, но их преобладающая часть находится в связанной форме. Углеводы входят в состав гумусовых кислот и гумина.
- Свободные углеводы (не связанные с гумусовыми кислотами) активно участвуют в химических превращениях. Они образуют комплексные соединения с ионами тяжелых металлов, вступают в химическое или адсорбционное взаимодействие с глинистыми минералами, способствуя созданию почвенной структуры. При минерализации аминсахаридов высвобождается необходимый растениям азот. Углеводы – один из важнейших источников углерода и энергии для почвенных микроорганизмов. Кроме того, некоторые сахара стимулируют развитие корневых систем.
- В почвах встречаются представители всех классов углеводов: моносахариды, олигосахариды и полисахариды. Свободные моносахариды обнаруживаются в почвенном растворе в микроколичествах и быстро утилизируются микроорганизмами. Медленнее трансформируются олигосахариды, состоящие из 2-10 моносахаридных остатков. К олигосахаридам относятся сахароза, мальтоза, лактоза, целлобиоза и др. Полисахариды составляют главную массу углеводов во всех органических остатках и наиболее устойчивы в почвах. Среди важнейших полисахаридов, встречающихся в почвах, следует назвать целлюлозу, крахмал, хитин.

# Лигнин

- В общей массе органических соединений, поступающих в почву, доля лигнина составляет 15-30%. Лигнин — один из наиболее устойчивых к разложению компонентов растительных тканей. Его углеродный скелет сходен со скелетом ароматических продуктов деструкции гумусовых кислот, поэтому многие исследователи относят его к основным гумусообразователям. В основе строения макромолекулы лигнина лежит фенилпропановое звено  $C_6 - C_3$  (рис. 3.4).
- В качестве заместителей в ароматическом кольце могут быть атомы и группы:  $-OH$ ,  $CO-$ ,  $-OCH_3$ ; в пропановой цепочке  $-OH$ ,  $-O-$ ,  $=C=O$  и др. Соотношение структурных единиц в лигнинах различного происхождения неодинаково. В древесине хвойных растений преобладают кониферилловые структуры, в лиственных — п-к

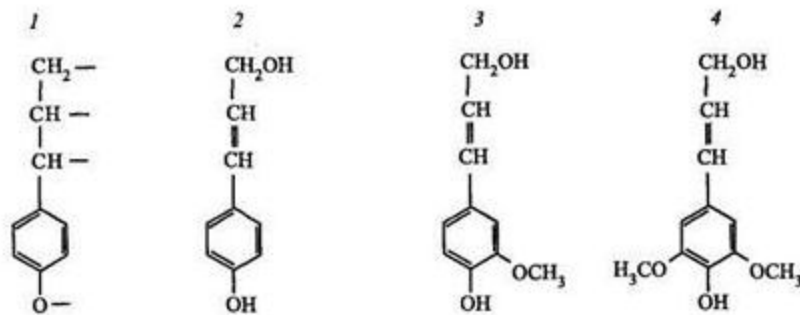


Рис. 3.4 - Структурные ядра молекул лигнина:

В травянистых  
1 — фенилпропановое  
звено; 2 — п-кумаровый  
спирт; 3 — кониферилловый  
спирт; 4 — синаповый спирт

- Лигнин хорошо гумифицируется, причем его трансформация осуществляется как путем частичных изменений макромолекулы, так и путем распада до мономеров. При гумификации лигнина содержание углерода в нем постепенно падает, несколько снижается содержание водорода и количество гидроксиллов, очень резко уменьшается количество метоксильных групп. Диметилирование – один из характерных элементарных процессов гумификации.
- По мере развития процесса гумификации увеличивается число карбоксильных групп –COOH, становясь соизмеримым с количеством карбоксиллов в гуминовых кислотах. После длительной гумификации в лигнине накапливается азот, количество которого соизмеримо с содержанием элемента в гумусовых кислотах.
- Вторым путем трансформации лигнина – распад до мономеров – сопровождается последующим деметилированием и окислением продуктов распада. Состав этих продуктов разнообразен. Об их наборе можно судить по тем низкомолекулярным соединениям ароматической природы, которые отщепляются от лигнина при мягком щелочном или кислотном гидролизе. К ним относятся п-кумаровый альдегид, кониферилловый альдегид, сиреневая кислота, п-оксибензальдегид, п-оксибензойная кислота и другие.
- Низкомолекулярные продукты распада лигнина легко вступают в реакции полимеризации и конденсации с аминокислотами и другими азотсодержащими соединениями. Конечными продуктами этих реакций могут быть азотсодержащие гетероциклы, являющиеся фрагментами молекул ГК.

# Белки

- Важнейшими неспецифическими азотсодержащими веществами, которые обнаруживаются в почвах в свободном состоянии, являются белки. Помимо них следует назвать аминокислоты, аминосахариды, нуклеиновые кислоты, хлорофилл, амины. Термин «свободное состояние» несколько условен, так же как и в отношении углеводов и других соединений. Он означает только, что то или иное соединение не входит в состав специфических гумусовых веществ. Большая часть таких «свободных» форм адсорбирована на поверхности глинистых минералов или образует нерастворимые соединения с минеральными компонентами почв.
- Белки представляют собой полипептидные цепи, состоящие из остатков аминокислот. Простые белки – протеины – содержат только аминокислоты. Сложные белки – протеиды – содержат протеины и простетическую группу, в роли которой выступают углеводы, жиры, нуклеиновые кислоты и др.
- Значительная часть почвенного азота представлена аминосахаридами. В почве идентифицированы D-глюкозамин, D-галактозамин и ряд других соединений. Аминосахариды входят в состав сложного комплекса полисахаридов, образующих клеточные стенки, мембраны, капсулы бактерий и грибного мицелия и выполняют роль аналогичную роли целлюлозы в высших растениях. Одним из полисахаридов является хитин, состоящий из остатков N-ацетилглюкزامина. Хитин образует наружный скелет насекомых, ракообразных и с их остатками попадает в почву. Поскольку хитин нерастворим в щелочах, его компоненты могут входить в состав почвенного гумина, или негидролизованного остатка.
- Под влиянием ферментативной деятельности микроорганизмов белки расщепляются на менее сложные компоненты, легко гумифицируются и минерализуются.

# Липиды

- В группу липидов включают все вещества, извлекаемые из почвы органическими растворителями. Это аналитическая группа веществ, объединяемая по характеру растворимости, а не по общему типу строения. Главными компонентами этой группы являются воска и смолы, извлекаемые из почв спиртобензольным экстрактом. Органические растворители извлекают из почв также углеводороды, в том числе полициклические, стероиды, глицериды, фосфолипиды, различные органические кислоты, включая феноксикислоты, а также пигменты и соединения других классов.
- Воска образованы сложными эфирами высших жирных кислот и высокомолекулярных одноатомных (иногда двухатомных) спиртов. Кроме того, в составе восков всегда присутствуют свободные спирты и кислоты, а также углеводороды и различные примеси. Входящие в состав восков кислоты и спирты обычно представлены насыщенными соединениями с неразветвленной углеродной цепочкой и числом углеродных атомов от 12 до 34. В наибольших количествах присутствуют кислоты с числом углеродных атомов от 16 до 26, причем преобладают кислоты с четным числом углеродных атомов: пальмитиновая –  $C_{16}H_{32}O_2$ , стеариновая –  $C_{18}H_{36}O_2$ , арахиновая –  $C_{20}H_{40}O_2$ , бегеновая –  $C_{22}H_{44}O_2$ , лигноцериновая –  $C_{24}H_{48}O_2$ , церотиновая –  $C_{26}H_{52}O_2$  и др. Обнаружены в почвах и непредельные жирные кислоты, например олеиновая –  $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$ .



# Гумификация

- Гумификация — сложный биофизико химический процесс трансформации промежуточных высокомолекулярных продуктов разложения органических остатков в особый класс органические соединения — гумусовые кислоты

- 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 СГК: СФК. 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.

Влагоёмкость и водопроницаемость почв.  
Почвенные растворы. Почвенный  
поглощающий комплекс.  
Катионнообменная способность почв.  
Селективность катионного обмена.

Багрова В.

Матиишена Е.

Огнёва Н.

Жукова О.

- **Влагоемкостью называют** наибольшее количество воды, которое может удерживать почва с помощью тех или иных сил. Обычно она выражается в процентах от массы сухой почвы.
- Эта способность зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса, состава поглощенных катионов. Высокая влагоемкость характерна для глинистых почв, богатых коллоидами, с высоким содержанием гумуса. Высокой влагоемкостью обладают почвы, содержащие известь, хлориды, слабовлагоемкие песчаные почвы.

# Различают следующие виды влагоемкости

- Максимальная гигроскопическая влагоемкость (МГВ) – это наибольшее недоступное растениям количество влаги (мертвый запас влаги), которое прочно удерживается молекулярными силами почвы (адсорбцией). Величина этой влагоемкости зависит от суммарной поверхности частиц, а также содержания гумуса: чем больше в почве илистых частиц и гумуса, тем она выше.
- Капиллярная влагоемкость – максимальное количество воды (капиллярно-подпертой влаги), которое удерживается в почве над уровнем грунтовых вод при заполнении капиллярных пор. Кроме свойств почвы, величина капиллярной влагоемкости зависит от высоты над зеркалом грунтовых вод. Вблизи грунтовых вод она наибольшая, а с поднятием к поверхности уменьшается и на границе капиллярной каймы равна наименьшей влагоемкости.

- Наименьшая влагоемкость (НВ), или предельная полевая влагоемкость (ППВ) – это наибольшее количество воды, которое остается в почве после ее полного увлажнения и свободного стекания избыточной воды. Величина наименьшей влагоемкости зависит от гранулометрического и минералогического состава, плотности и пористости почвы. Она соответствует величине капиллярно-подвешенной воды. Наименьшая влагоемкость – важнейшая характеристика водных свойств почвы, дающая представление о наибольшем количестве воды, которое почва способна накопить и длительное время удерживать. Она составляет (в % от веса абсолютно сухой почвы): для песчаных – 4 – 9, супесчаных – 10 – 17, легко- и среднесуглинистых – 18 – 30, тяжелосуглинистых и глинистых – 23 – 40. Наибольшие значения ППВ характерны для гумусированных почв тяжелого механического состава, обладающих хорошо выраженной макро- и микроструктурой.
- Полной влагоемкостью (ПВ) называется наибольшее количество воды, которое может вместить почва при полном заполнении всех ее пор водой при отсутствии оттока (численно равна пористости почвы).

- **Водопроницаемость.** Способность почвы впитывать и пропускать через себя воду называется водопроницаемостью. Ее можно разделить на две стадии.
- Первая стадия называется впитыванием. Она проявляется в более сухих почвах, когда свободные от влаги поры начинают заполняться водой.
- Вторая стадия — фильтрация. Она, как правило, проявляется во время обильных осадков. В это время в почве, которая уже полностью насыщена водой, влага начинает передвигаться под влиянием силы тяжести и градиента напора.

- Интенсивность водопроницаемости почвы зависит от размера и количества пор. Легкие песчаные и супесчаные почвы, имеющие большое количество крупных пор, всегда отличаются высокой водопроницаемостью. Даже после выпадения большого количества атмосферных осадков вода на поверхности таких почв практически не задерживается и очень быстро уходит в нижние горизонты.
- В более тяжелых по гранулометрическому составу почвах уровень водопроницаемости зависит от их плотности и структурного состояния. Так, рыхлые, хорошо оструктуренные почвы всегда характеризуются более высоким значением данного показателя.
- Влияет на водопроницаемость и состав поглощенных катионов. Например, почвы, насыщенные катионами  $\text{Na}^+$ , при увлажнении сильно набухают и становятся для воды почти непроницаемыми.



# Оценка водопроницаемости почв

Водопроницаемость	Количество воды (мм), пропускаемое почвой за 1 ч, при напоре 5 см и температуре 10 °С
Провальная	> 1000
Излишне высокая	1000...500
Наилучшая	500... 100
Хорошая	100...70
Удовлетворительная	70...30
Неудовлетворительная	<30

- Как высокая, так и низкая водопроницаемость неблагоприятна для развития растений. При небольшом значении данного показателя во время дождей может происходить гибель сельскохозяйственных культур от вымокания. При высокой водопроницаемости в корнеобитаемом слое чрезвычайно трудно создать необходимый запас доступной для растений влаги, и во время засухи растения на таких почвах гибнут в первую очередь.

- Водопроницаемость почвы зависит непосредственно от величины **порозности** почвы и, самое главное, от **размера пор**. Чем выше порозность и чем крупнее поры, тем водопроницаемость будет больше.
- Для грунтов и почв песчаных и гравелистых, бесструктурных, водопроницаемость зависит почти исключительно от их механического состава и сложения, поскольку размер пор определяется размером частиц и плотностью их укладки.
- Для грунтов и почв, обладающих структурой, последняя (имея в виду водопрочные агрегаты) будет оказывать решающее влияние на водопроницаемость. Поскольку межагрегатные поры всегда крупнее внутриагрегатных, водопроницаемость будет определяться преимущественно числом и размером межагрегатных пор. Поэтому естественно, что водопроницаемость почвы, помимо ее природных свойств, в широких пределах зависит также от культурного состояния и от агротехники.

- Из других факторов, оказывающих влияние на водопроницаемость, следует указать на присутствие в почве заземленного воздуха, изолированные пузырьки которого занимают отдельные поры или системы пор, через которые вода просачиваться не может.
- Существенное влияние на водопроницаемость оказывает наличие в почве крупных промежутков (трещин, ходов червей, корневых ходов, кротовин), а также характер растительности.
- Водопроницаемость почвы уменьшается при замерзании почвы или, точнее, при замерзании содержащейся в почве влаги. Чем выше влажность почвы, тем ниже ее водопроницаемость при замерзании. Сильно увлажненная замерзшая вода теряет свою водопроницаемость полностью.
- Если влага поступает в более или менее сухую почву, то водопроницаемость вначале бывает довольно высокой, а затем быстро уменьшается. Особенно резко это бывает выражено в почвах и грунтах суглинистого и глинистого механического состава. Уменьшение водопроницаемости в процессе просачивания зависит от того, что почва насыщается влагой, от набухания почвенных коллоидов, которое ведет к сужению пор, от разрушения в некоторых случаях структурных отдельностей и т. д.

- **Почвенный раствор** представляет собой жидкую фазу почв, которая формируется путем взаимодействия атмосферных осадков, поверхностного стока и грунтовых вод (при неглубоком залегании последних) с твёрдой, газообразной и живой фазами.
- Почвенный раствор содержит минеральные, органические и органо-минеральные вещества в ионной, молекулярной, коллоидной форме и иногда в виде взвесей. Он также содержит растворенные газы: кислород, углекислый газ, аммиак.
- Количество почвенного раствора зависит от влажности почвы и колеблется в широких пределах — от долей и единиц до десятков процентов в минеральных почвах, до сотен процентов в торфяных.

- В почвенных растворах преобладают катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , всегда присутствуют  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ , в почвах с кислой реакцией среды —  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ . Из анионов преобладают  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ; присутствуют  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ .
- Железо, алюминий содержатся, в основном, в виде устойчивых комплексов с органическими веществами. Минерализация почвенных растворов невелика и в разных типах почв колеблется, возрастая с севера на юг, от десятков мг в подзолистых до нескольких граммов вещества на литр в черноземах и каштановых почвах, в засоленных почвах минерализация резко повышается до десятков и даже сотен граммов на литр.
- Содержание органических веществ в почвенных растворах измеряется десятками и сотнями мг/л, повышенные концентрации их наблюдаются в подзолистых и болотных почвах таёжно-лесной зоны.

# КАТИОННООБМЕННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

Обменные катионы в почвах представлены главным образом элементами I и II групп периодической системы. В кислых почвах значительную, а иногда преобладающую роль играют ионы  $H^+$  и  $Al^{3+}$ . В обменной форме в почвах находятся и многие микроэлементы: ионы  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и др.; эти формы микроэлементов учитывают при оценке их доступности растениям, но на физические и физико-химические свойства твердых фаз почвы и почвенного раствора они практически не влияют. Наиболее подробно катионный обмен изучен для катионов  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  и  $Na^+$ .

Открытое Г.С. Томпсоном и впервые изученное Дж. Уэем явление обмена катионов в почвах оказало исключительно большое влияние на развитие химии почв и генетического почвоведения и привело к созданию искусственных ионообменников (ионитов), широко используемых в современной химии и химической технологии. Основы учения о ионном обмене и его использования в теоретическом и прикладном почвоведении создал выдающийся ученый академик К.К. Гедройц.

Катионообменная способность почв - это свойство почвы поглощать твердые, жидкие, газообразные вещества или увеличивать концентрацию у поверхности коллоидов.

К.К. Гедройц рассматривал ионный обмен как один из видов поглотительной способности почв. Он предположил различать следующие виды поглотительной способности:

- *механическая поглотительная способность* — свойство почвы одерживать частицы, взмученные в фильтрующейся через почву воде;
- *физическая поглотительная способность* — концентрирование или разжижение растворенных в почвенном растворе веществ у поверхности соприкосновения твердых частичек почвы с почвенной влагой, обусловленное поверхностной энергией почвенных частиц;
- *физико-химическая, или обменная, поглотительная способность* — свойство почвы обменивать некоторую часть содержащихся в твердых фазах катионов на эквивалентное количество катионов, находящихся в соприкасающемся с почвой растворе;
- *химическая поглотительная способность* — образование в почвенном растворе нерастворимых или малорастворимых солей, которые выпадают в осадок и примешиваются к твердым фазам почвы (Например, при внесении в почву фосфорного удобрения в результате взаимодействия аниона фосфорной кислоты с катионом кальция выпадает в осадок ортофосфат кальция:



- *биологическая поглотительная способность* — обусловлена деятельностью растений и микроорганизмов, населяющих почвы, и заключается в поглощении живыми организмами различных веществ из почвенного раствора.



Катионообменная способность относится к числу фундаментальных свойств почвы. Ее роль и значение в неполном объеме можно охарактеризовать следующими положениями:

1. От состава обменных катионов зависят физические свойства почв: их пептизируемость и агрегированность. Обменный  $\text{Na}^+$  вызывает пептизацию тонкодисперсной части почв, образование почвенной корки, ухудшает структуру. Обменный  $\text{Ca}^{2+}$  повышает степень агрегированности, способствует формированию водопроходной структуры.
2. От состава обменных катионов зависят поглощение органических веществ твердыми фазами, образование органоминеральных соединений.
3. Реакции обмена катионов влияют на pH почвенного раствора и его солевой состав.
4. Обменные катионы — один из непосредственных источников элементов минерального питания растений. В частности, обеспеченность почв калием определяется по содержанию обменного калия.

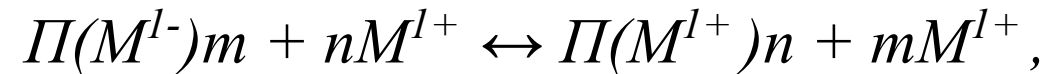
5. Состав обменных катионов — один из важнейших показателей, используемых при диагностике и классификации почв. Еще в работе В.В. Докучаева «Материалы к оценке земель Нижегородской губернии» указывалось, что поглотительная способность почв должна оказать большую услугу как масштаб для предварительного разделения почв на группы, при определении колебаний в пределах данной группы и для установки границ между соседними группами почв. К.К. Гедройц первым предложил использовать обменные катионы для генетической классификации почв. В современной практике широко используется деление почв на насыщенные и ненасыщенные основаниями; при подразделении почв по степени солонцеватости учитывается доля  $\text{Na}^+$  в составе обменных катионов.

6. Состав обменных катионов и его ожидаемое изменение учитывают при составлении проектов промывок засоленных почв и полива почв минерализованными водами.

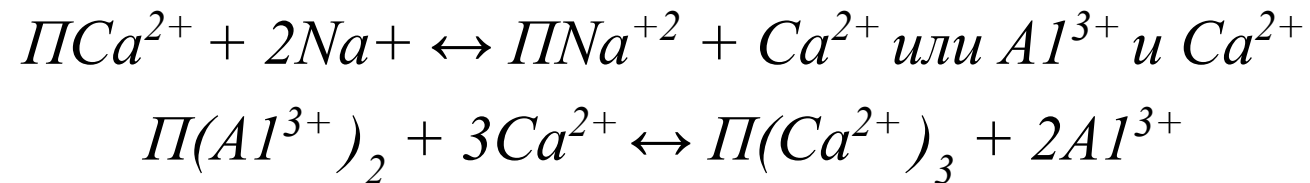
7. Законы катионного обмена являются теоретической основой для некоторых видов химической мелиорации почв — известкования кислых почв и гипсования солонцов.

Катионный обмен — частный случай ионного обмена, под которым в химии понимают обратимый процесс стехиометрического обмена ионами между двумя контактирующими фазами.

Реакцию обмена катионов  $M^{l-}$  и  $M^{l+}$  формально можно записать так:



где П — почвенный поглощающий комплекс. Эта форма записи показывает, что составная часть почвы — ее поглощающий комплекс, обозначаемый символом П (или ППК), — отдает в раствор катионы в обмен на эквивалентное количество катионов другого рода. Например, при обмене ионов  $Ca^{2+}$  и  $Na^+$



Материальным носителем катионообменной способности почв является ППК.

Почвенный поглощающий комплекс — это совокупность минеральных, органических и органоминеральных компонентов твердой части почвы, обладающих ионообменной способностью.

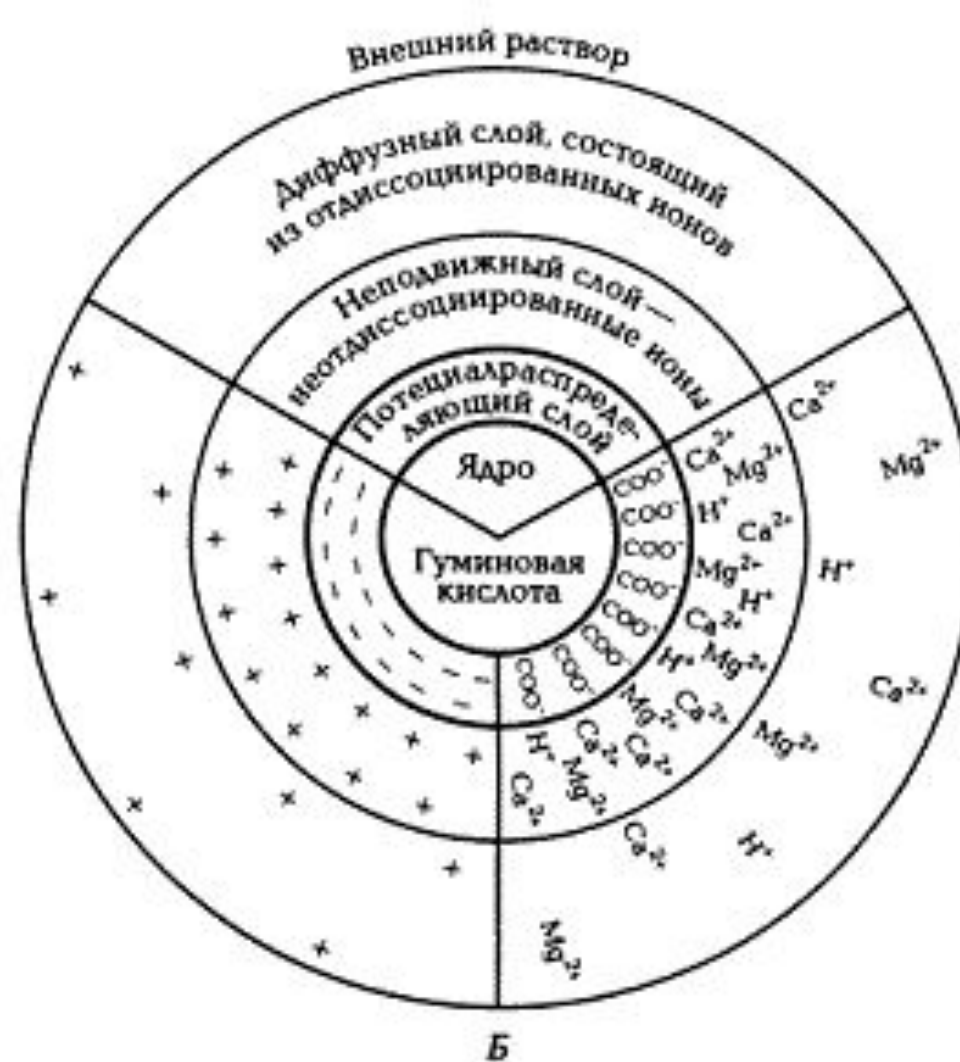
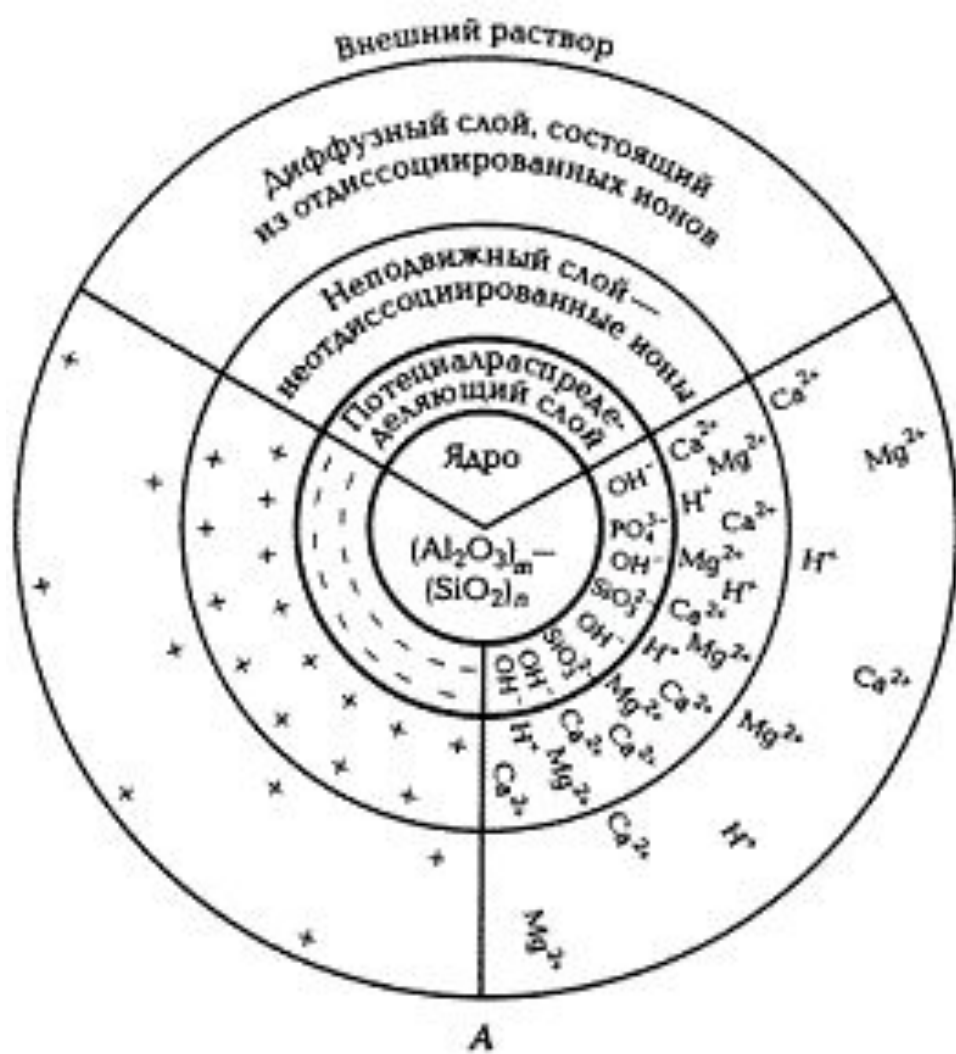
Согласно определению, в ППК входят и способные к обменным реакциям катионы; в противном случае этот комплекс не смог бы выделить в ходе реакции эквивалентное количество катионов в обмен на катионы почвенного раствора. Не все твердые фазы почв способны проявлять катионообменную способность. Практически не обладают обменной способностью такие минералы, как кварц; очень слабо проявляется это свойство во фракциях механических элементов крупнее 0,002—0,005 мм. Способность к поглощению и обмену катионов сосредоточена главным образом в илистой фракции почв.

Катионы, которые входят в состав ППК и могут быть замещены катионами другого рода при взаимодействии с нейтральными растворами солей, называют обменными катионами, в качестве синонима употребляют термин поглощенные катионы.

При характеристике ППК и обменных реакций часто используют термин обменные основания, под которым понимают только обменные катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Na}^+$ , тогда как в число обменных катионов входят кроме того,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  и др.

Таким образом, обменные основания составляют только часть обменных катионов, хотя в большинстве степных и сухостепных почв практически весь фонд обменных катионов представлен обменными основаниями. Термин «обменные основания» нельзя признать удачным; по определению Бренстеда — Лоури, основаниями называют вещества, способные соединяться с ионами водорода.

По Аррениусу, основание — вещество, повышающее в растворе концентрацию гидроксильных ионов. Основаниями, следовательно, являются не сами катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  и т. д., а их гидроксиды. Однако в литературе по почвоведению прочно укоренилось понятие «обменные основания», и этим термином приходится пользоваться, хотя терминологические неточности нередко приводят к неверной трактовке почвенно-химических процессов. Так, встречаются мнения, что поступление в почвы ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  независимо от сопутствующего им аниона вызывает снижение уровня почвенной кислотности.



Строение почвенно-поглощающего комплекса (по Н.И. Горбунову, 1974): А — минеральная коллоидная частица; Б — органическая коллоидная частица  
<https://www.activestudy.info/pochvenno-pogloshhayushhij-kompleks>

Важнейшей характеристикой почвенного поглощающего комплекса и почвы в целом является емкость катионного обмена (ЕКО). Как синоним употребляют термин «емкость поглощения». Последний термин менее строгий, и поэтому его не следует рекомендовать для использования в научно-исследовательской и производственной работе.

По К.К. Гедройцу, емкость поглощения определяется как сумма всех обменных катионов, которые можно вытеснить из данной почвы. Он считал, что для данной почвы это величина постоянная и может изменяться лишь с изменением природы самой почвы. Позже было установлено, что величина ЕКО существенно зависит от рН взаимодействующего с почвой раствора и несколько варьирует при замене одного вида насыщающего катиона на другой.

Под емкостью катионного обмена будем понимать общее количество катионов одного рода, удерживаемых почвой в обменном состоянии при стандартных условиях и способных к обмену на катионы взаимодействующего с почвой раствора. Величину емкости катионного обмена выражают в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы или ее фракции. Согласно правилам Международной системы единиц (СИ), величина ЕКО, выраженная в  $\text{сМ}(\text{p}^+) \cdot \text{кг}^{-1}$  (сантимольи положительных зарядов в 1 кг почвы), численно совпадает с числом миллиграмм-эквивалентов на 100 г почвы.

Емкость обмена не следует отождествлять с суммой обменных катионов. Последняя определяется как общее количество катионов, вытесняемых из незасоленной и бескарбонатной почвы нейтральным раствором соли. Сумма обменных катионов характеризует природное состояние почвы, она может совпадать количественно с ЕКО, но может и существенно от нее отличаться. Поскольку ЕКО зависит от рН, для одной и той же почвы сумма обменных катионов может быть ниже, если почва имеет кислую реакцию, ЕКО — выше, если ее определяют с помощью буферного раствора при рН 8,2. Возможны и обратные зависимости.

Учитывая зависимость емкости обмена от рН и необходимость характеристики почвы не только в условно выбранном стандартном состоянии, но и в природной обстановке, следует различать три вида ЕКО:

- емкость катионного обмена стандартную определяют с помощью буферных растворов при постоянном значении рН. С этой целью почву насыщают ионами  $\text{Ca}^{2+}$  из буферного раствора с рН 6,5. После насыщения емкость определяют по количеству поглощенного почвой  $\text{Ca}^{2+}$  ;



- емкость катионного обмена реальную (или эффективную) определяют путем обработки почвы небуферными растворами солей о реальной емкости катионного обмена можно судить с достаточной точностью по сумме обменных катионов;
- дифференциальная (или рН-зависимая) емкость катионного обмена характеризует приращение емкости катионного обмена с увеличением рН равновесного раствора:  $\Delta \text{ЕКО} / \text{DpH}$ . Чтобы найти дифференциальную ЕКО, почву насыщают катионами одного рода из буферных растворов с различными значениями рН (например 6,5 и 8,2), а затем рассчитывают общее приращение ЕКО или её приращение на единицу рН.

Емкость катионного обмена зависит от гранулометрического состава почвы и строения веществ, входящих в состав почвенного поглощающего комплекса. Увеличение ЕКО в тяжелых по механическому составу почвах обусловлено не только нарастанием удельной поверхности, но и изменением природы слагающих различные фракции веществ.

Предылистые и илистые фракции содержат слоистые алюмосиликаты, в них повышено содержание гумусовых веществ, для которых характерна более высокая плотность зарядов на единицу поверхности, чем для первичных минералов крупных фракций.

Емкость катионного обмена составляющих почву веществ меняется в очень широких пределах: практически от нуля (обломки кварца) до 500—900 мг-экв/100 г для гуминовых кислот. Величина емкости зависит от состава ППК.

Каолинит в зависимости от степени дисперсности обладает емкостью от 2 до 15 мг-экв/100 г, галлуазит — от 15 до 30 мг-экв, монтмориллонит — от 70 до 150 мг-экв, а после растирания—до 200—250 мг-экв/100 г. Емкость иллита порядка 20—30 мг-экв/100 г, слюды — около 5—10 мг-экв на 100 г.

Наибольшей емкостью обладают гумусовые вещества, для которых особенно сильно выражена зависимость ЕКО от рН.

В нейтральной и кислой средах в реакциях обмена участвует водород только карбоксильных групп.

В щелочной среде диссоциируют также фенольные группы и некоторые другие гидроксилы, что резко увеличивает ЕКО. Надо иметь в виду, что карбоксильные группы гумусовых кислот неодинаковы.

Константы диссоциации групп  $\text{COOH}$  зависят от их положения в молекуле и ближайшего окружения.

Способность водорода карбоксилов к диссоциации особенно сильно возрастает при наличии близко расположенных электроотрицательных заместителей. Часть групп  $\text{COOH}$  гумусовых кислот активно участвует в реакциях обмена катионов при рН (5-6); другие (более слабые) группы вступают в реакцию лишь при возрастании рН.

В обогащенных гумусом горизонтах почв величина ЕКО обусловлена в значительной мере органическими веществами. По данным М.А. Винокурова, емкость органической части почвы в 10—30 раз превышает ЕКО минеральной части, и при содержании гумуса около 5—6 % на его долю приходится 30—60 % ЕКО

*Адсорбцией* называют концентрированно вещества адсорбата объема газа или жидкости на поверхности твердого тела (адсорбе та) или жидкости. Если молекулы адсорбата образуют поверхностное химическое соединение с адсорбентом, то говорят о хемосорбции. Адсорбция увеличивается с ростом давления газа или концентрации раствора.

При снижении парциального давления адсорбируемого компонента газовой смеси или при бесконечном разбавлении раствора адсорбция уменьшается вплоть до полного освобождения поверхности адсорбента от молекул адсорбата.

Сухие почвы обладают способностью адсорбировать различные газы и пары. Наиболее интенсивно происходит адсорбция молекул воды, которая описывается уравнением Брунауэра — Эммета — Теллера (изотерма БЭТ).

В меньшей степени адсорбируются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ . Адсорбция воды, диоксида углерода и кислорода может сопровождаться химическим взаимодействием с компонентами твердых фаз почв (хемосорбция). Из растворов почвы адсорбируют нейтральные молекулы органических соединений, гумусовые вещества.

Адсорбцию вызывают молекулярные силы поверхности адсорбента неполярные молекулы удерживаются за счет дисперсионных сил.

Полярные молекулы (диполи, мультиполи) взаимодействуют с электростатическим полем поверхности адсорбента, что усиливает адсорбцию. Одно из главных различий между адсорбцией и ионным обменом заключается в том, что обменные катионы являются обязательным компонентом ППК и могут быть только заменены на катионы другого рода, но не удалены вовсе.

Попытка пространственного расчленения ППК на анионную часть и катионы привела бы к нарушению принципа электронейтральности. В противоположность этому поверхность адсорбента может быть полностью лишена молекул адсорбата.

Общее содержание обменных катионов остается сравнительно постоянным (в пределах постоянства величины ЕКО), тогда как количество адсорбированного вещества является функцией активности адсорбата в объеме фазы. Иными словами адсорбент и адсорбат могут существовать отдельно, тогда как ППК составляет единое целое.

В то же время количественные закономерности адсорбции и ионного обмена могут быть описаны сходными по форме уравнениями. Для описания изотерм адсорбции пользуются уравнением Фрейндлиха или уравнением Ленгмюра.

Эмпирическое уравнение Фрейндлиха имеет вид  $Q = mC^n,$

где  $Q$  — количество адсорбированного вещества;  $c$  — его равновесная концентрация (или равновесное парциальное давление);  $m$  и  $n$  - эмпирические константы. Это уравнение впервые было сформулировано Беммеленом в 1888 г., но в литературе закрепилось как уравнение Фрейндлиха. Оно хорошо описывает многие сорбционные процессы, хотя и не позволяет найти предельную величину максимальной адсорбции.

Уравнение Ленгмюра для мономолекулярной адсорбции записывают в следующем виде:

$$Q = \frac{Kc}{1 + Kc} Q_{\max}$$

где  $Q$  — количество адсорбированного вещества на 1 г адсорбента;  $C$  - равновесная концентрация;  $K$  — константа равновесия;  $Q_{\max}$  — максимальное количество вещества, адсорбируемое адсорбентом, его сорбционная емкость.

При изучении процессов поглощения почвами катионов, анионов, неполярных молекул широко используют представление о специфической и неспецифической адсорбции. Различие между ними определяется характером связи поглощенных почвой веществ с активными адсорбционными центрами на поверхностях твердых фаз.

Неспецифическая адсорбция обусловлена слабыми молекулярными (вандерваальсовыми и кулоновскими электростатическими, силами). Электрическое взаимодействие характерно для классического варианта ионного обмена, когда удерживаемые за счет электростатического взаимодействия катионы и анионы легко обмениваются на катионы и анионы равновесного почвенного раствора.

Такое взаимодействие характерно в чистом виде для катионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ , частично для  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ , а также для таких анионов, как  $\text{Cl}^-$  и  $\text{NO}_3^-$ . Большинство важнейших анионов ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ), катионы щелочно-земельных металлов, катионы и гидроксиды практически всех тяжелых металлов в значительной мере или полностью поглощаются по механизму специфической адсорбции. Это означает, что при таком взаимодействии образуются значительно более прочные координационные и ковалентные связи с поверхностными соединениями или группами. Иногда отмечают, что хемосорбция отличается образованием еще более прочных связей. Связанные по механизму специфической адсорбции ионы не удается вытеснить катионами и анионами нейтральных солей по типу обычных реакций ионного обмена. При специфической адсорбции может поглощаться значительно большее количество ионов, чем это вытекает из ЕКО и уравнений обмена, причем уровень поглощения сильно зависит от рН.

Специфически могут связываться также ионы  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$ , в том числе в межпакетных пространствах минералов с расширяющейся решеткой, а также гидроксокомплексы катионов многих металлов. Все это осложняет анализ количественных закономерностей реакций ионного обмена.

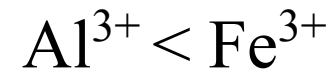
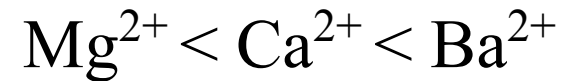
# СИЛЕКТИВНОСТЬ КАТИОННОГО ОБМЕНА

*Селективность* - количественное соотношение между двумя любыми обменными катионами в ППК неравно отношению активностей (или концентраций) тех же катионов в равновесном растворе.

При равной активности катионов раствора, один из них поглощается почвой в больших количествах и удерживается более прочно, иными словами, почвы обладают способностью селективно поглощать катионы одного рода в ущерб катионам другого рода.



Селективность зависит как от свойств катионов, так и от химических особенностей компонентов ППК. В общем случае предпочтительнее связываются катионы с более высоким зарядом, а при равных зарядах – катионы с большей атомной массой. Это правило иллюстрируется следующими рядами катионов, расположенных в порядке возрастания степени их поглощения почвой:



Значительную роль в селективности обмена играют свойства анионной части ППК. В качестве адсорбционных центров выступают участки сколов кристаллов, диссоциирующие гидроксильные группы, часть обменных катионов входит в межпакетные промежутки глинистых минералов. Предпочтительнее удерживаются этими центрами те катионы, для которых радиус (с учетом гидратной оболочки) соответствует кристаллохимическим особенностям структур отдельных центров.

Активными центрами органической части ППК служат преимущественно кислые функциональные группы – карбоксильные и фенольные.

Селективность поглощения катионов в этом случае обусловлена различной прочностью их связи с функциональными группами и зависит от расположения последних в молекуле.

Если фенольная и гидроксильная группы находятся в ортоположении, то они образуют прочные соединения с двух- и трехвалентными катионами.

Селективность поглощения катионов нарастает с увеличением констант диссоциации кислых функциональных групп.

<https://helpiks.org/1-19987.html>

[https://studopedia.ru/19\\_372358\\_kationoobmennaya-sposobnost-pochv.html](https://studopedia.ru/19_372358_kationoobmennaya-sposobnost-pochv.html)

# Кислые почвы

Усова Д., Бубнова Е., Кондратьев М., Акишева С., Булдакова М.,  
Рябкова В.

- **Кислотность почвы** — способность почвы проявлять свойства кислот.
- Наличие ионов водорода (H-ионов) в почвенном растворе, а также обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе при неполной нейтрализации придаёт почве кислую реакцию.

# Для характеристики почвенной кислотности используется ряд показателей:

- *Актуальная кислотность* — это рН почвенного раствора (на практике измеряется рН водной вытяжки при соотношении почва: вода = 1:2,5 для минеральных почв и 1:25 для торфяных). При рН 7 реакция почвенного раствора нейтральная, ниже 7 — кислая, выше — щелочная. Подзолистые почвы лесной зоны имеют преимущественно кислую реакцию (рН<sub>водн</sub> 4,5 — 5,5), подзолы и верховые торфяники — сильнокислую (рН<sub>водн</sub> 3,5 — 4,5).
- *Потенциальная кислотность* почвы — кислотность твёрдой части почвы, её выражают в мг-экв на 100 г сухой почвы. Параметры *потенциальной кислотности* учитывают также влияние катионов ППК, которые могут подкислять почвенный раствор ( $H^+$  и  $Al^{3+}$ ).

- *Обменная кислотность* почвы вызывается обменными катионами водорода и алюминия, которые переходят в раствор из почвенного поглощающего комплекса при взаимодействии с нейтральными солями. В богатых перегноем горизонтах она обусловлена преимущественно H-ионами, в малогумусных минеральных — Al-ионами.
- *Гидролитическая кислотность* — рН вытяжки раствором гидролитически щелочной  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (позволяет более полно вытеснить  $\text{H}^+$  из ППК). Определяется H-ионами, переходящими в раствор при взаимодействии с почвой гидролитически щелочных солей, и включает менее подвижные H-ионы, не вытесняемые нейтральными солями. В подзолистых почвах гидролитическая кислотность составляет 1—10 мг-экв на 100 г сухой почвы. О величине гидролитической кислотности можно судить также по насыщенности почвы основаниями.

- Повышенная кислотность почвы негативно сказывается на росте большинства культурных растений за счёт уменьшения доступности ряда макро- и микроэлементов, и наоборот, увеличения растворимости токсичных соединений марганца, алюминия, железа, бора и др., а также ухудшения физических свойств. Для снижения кислотности прибегают к известкованию.
- **Подкисление почвы** — изменение кислотно-основных свойств почвы, вызванное природным почвообразовательным процессом, поступлением загрязняющих веществ, внесением физиологически кислых удобрений и другими видами антропогенного воздействия.



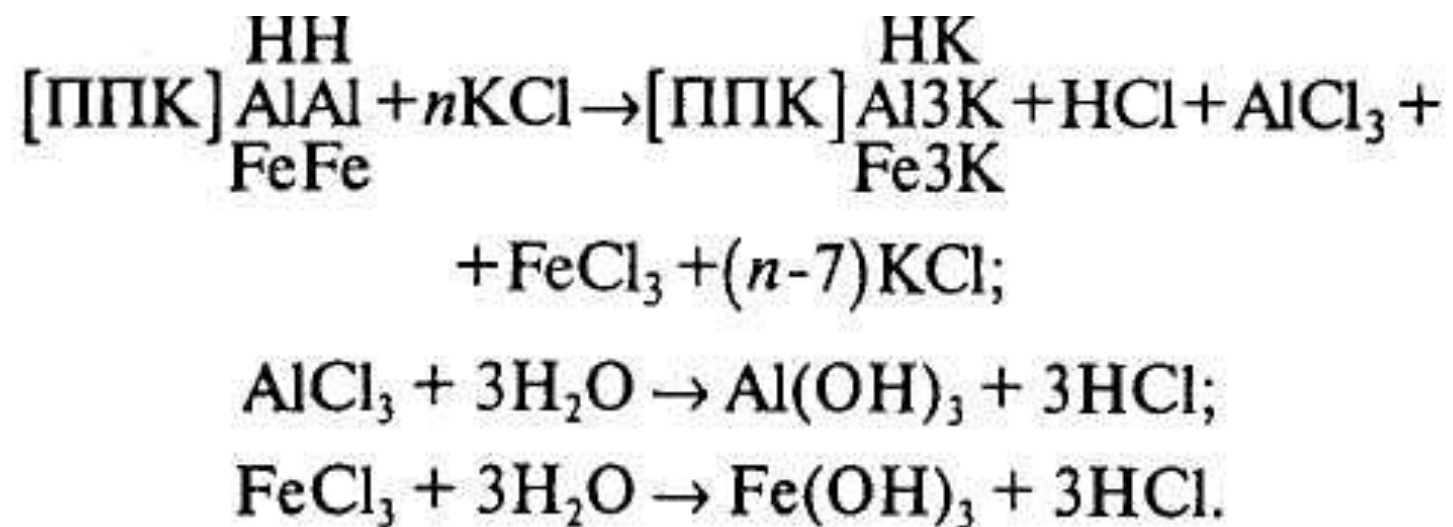
- **Реакция почвенного раствора** (почвы) обусловлена соотношением ионов водорода ( $H^+$ ) и гидроксида ( $OH^-$ ), причем концентрацию первых обычно выражают символом  $pH$ , являющимся отрицательным логарифмом концентрации этих ионов ( $H^+$ ).
- Реакция почвы оказывает большое разностороннее влияние на усвоение питательных элементов, рост, развитие и урожайность растений, деятельность почвенных микроорганизмов, трансформацию разных форм питательных элементов удобрений и почвы, физические, химические, физико-химические и биологические свойства почв. Удобрения, и особенно мелиоранты, позволяют регулировать реакцию почв в желаемом для возделываемых культур направлении.

## По реакции (pH) различают почвы:

- очень сильнокислые -  $< 4,0$  (рНСОЛ)
- сильнокислые - 4,1 - 4,5
- среднекислые - 4,6-5,0
- слабокислые - 5,1-6,0
- нейтральные - 6,1-7,4
- слабощелочные - 7,5-8,5 (рНвод)
- сильнощелочные - 8,6-10,0
- резкощелочные -  $> 10,0$
- В кислых почвах различают актуальную (активную) и потенциальную (пассивную) кислотность.

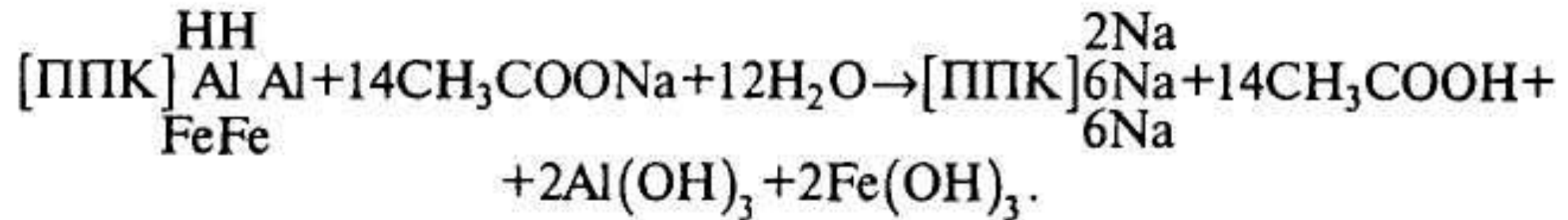
- **Актуальная кислотность** обусловлена наличием и концентрацией ионов водорода в почвенном растворе (суспензии) при обработке почвы водой. Разложение органического вещества почвы и органических удобрений приводит к постоянному образованию органических и аминокислот, диоксида углерода и воды. Органические и аминокислоты являются продуктами корневых выделений растений и почвенных микроорганизмов, а при дыхании все живые организмы выделяют  $\text{CO}_2$ . Диоксид углерода, взаимодействуя с водой, образует угольную кислоту. Угольная, органические и аминокислоты, да еще гидролитически кислые удобрения ( $\text{NH}_4\text{C}_1$ ;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) и азотная кислота, образующаяся в процессе нитрификации аммиачного азота удобрений и почвы, являются основными источниками ионов водорода почвенного раствора, обуславливающими актуальную кислотность почв.
- **Потенциальная кислотность** обусловлена обменно-поглощенными ППК ионами водорода, алюминия, железа и марганца. В зависимости от способности к обменному вытеснению из ППК этих ионов другими потенциальную кислотность разделяют на обменную и гидролитическую.

- **Обменная кислотность** обусловлена наличием в ППК тех ионов водорода, алюминия, железа и марганца, которые могут быть вытеснены в раствор катионами нейтральных солей, в том числе и удобрений ( $\text{KCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и др.). Схематически это можно представить в следующем виде:



- В слабокислых почвах обменная кислотность незначительная, а в щелочных - вообще отсутствует. Обменная кислотность кислых почв легко переходит в актуальную при взаимодействии твердой фазы почвы с водорастворимыми солями удобрений, мелиорантов и жидкой фазы почвы, что усиливает отрицательное влияние на чувствительные к кислотности растения и микроорганизмы. Особенно токсичны для многих живых организмов подвижные алюминий и марганец, поэтому дозы извести должны нейтрализовать не только актуальную, но и обменную формы кислотности известкуемых почв. Обменная кислотность ( $pH_{СОЛ}$ ) - важный показатель нуждаемости почв в известковании. Величину обменной кислотности выражают в  $pH$  солевой вытяжки (1 н.  $КС_1$ ) или в миллиграмм-эквивалентах на 100 г. почвы. При обработке почвы раствором нейтральной соли в почвенной суспензии или растворе наряду с имевшимися ранее (обуславливающими актуальную кислотность) появляются и вытесненные из ППК (обуславливающие обменную кислотность) катионы, поэтому величина обменной кислотности всегда больше (а  $pH$  меньше), чем актуальной.

- Гидролитическая кислотность** обусловлена той частью катионов ППК потенциальной кислотности, которые могут быть вытеснены при обработке почвы 1 н. раствором гидролитически щелочной соли ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ):  $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOH} + \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ .  
 Щелочная реакция водного раствора этой соли позволяет более полно, чем нейтральная соль (КС1), вытеснить из ППК все ионы водорода, алюминия, железа и марганца по следующей схеме:



- **Гидролитическая кислотность** ( $H_g$ ) определяется как общая кислотность почвы, включающая в себя актуальную, обменную и «собственно» гидролитическую виды ее. Она значительно больше обменной и выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 грамм почвы. В отсутствие актуальной и обменной видов «собственно» гидролитическая кислотность не вредна для растений и микроорганизмов. Это наблюдается во всех черноземах, кроме южных, но знание ее в этих случаях необходимо для определения степени насыщенности почв основаниями ( $V$ ) и для обоснования возможностей замены суперфосфатов фосфоритной мукой (фосфоритование).
- Для кислых почв (болотные, подзолы, дерново-подзолистые, серые лесные, красноземы, желтоземы) наряду с определением степени насыщенности основаниями и возможностями фосфоритования величина гидролитической кислотности позволяет определять оптимальную дозу извести для желаемой нейтрализации тех или иных видов кислотности. В щелочных почвах (южные черноземы, каштановые и солонцовые почвы) различают актуальную и потенциальную щелочность.

## *Соединения алюминия*

Алюминий в почвах представлен соединениями с резко различной растворимостью, а для почв гумидных областей (подзолистые, дерново-подзолистые, болотные, красноземные) характерно присутствие не только легкорастворимого, но и обменного алюминия. Обменный Al присутствует обычно в количестве от десятых долей до 3—10 мг-экв/100 г почвы (т. е. от единиц до нескольких десятков миллиграммов на 100 г почвы).

Соединения алюминия в почвах очень разнообразны. Это оксиды и гидроксиды алюминия; содержащие алюминий минералы-соли; простые и комплексные соединения Al с органическими веществами и, наконец, алюмосиликаты.

Оксид алюминия  $Al_2O_3$  встречается в породах в виде корунда, отличающегося высокой твердостью и устойчивостью к кислотам. Корунд имеет серую с синеватым или желтоватым оттенком окраску, но примеси Cr, Mn, Fe, Ti придают ему интенсивную красную, синюю или черную окраску. Окрашенные разновидности корунда относятся к числу известных драгоценных камней: сапфир, рубин, топаз и т. п. Корунд встречается в бокситах, сиенитах, пироксенитах, сланцах, гнейсах.