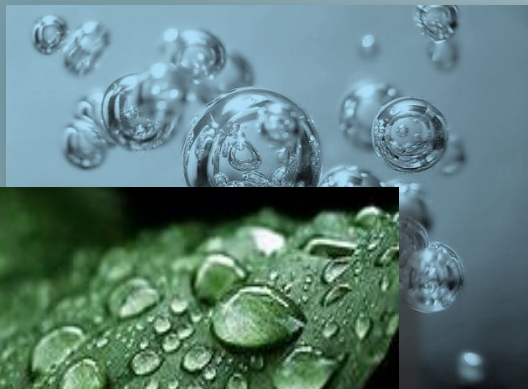




**ЛЕКЦИЯ 10.**  
**ВОДА И ВОЗДУХ В ПОЧВЕ**

**Вода** – это особая физико-химическая весьма активная система, обеспечивающая многие физические и химические процессы в природе. С другой стороны – это мощная транспортная геохимическая система, обеспечивающая перемещение веществ в пространстве Земли.

Воде принадлежит важнейшая роль во многих процессах, протекающих в почвах: выветривание и образование новых минералов, гумусообразование и химические реакции совершаются только в водной среде; формирование генетических горизонтов почвенного профиля, динамика протекающих в почве процессов также связаны с водой. Вода в почве является терморегулирующим фактором, определяя в значительной степени тепловой баланс почвы и ее температурный режим. Исключительно важна вода в обеспечении плодородия почв, поскольку почвенная влага является практически единственным источником воды для растений.



Вода в почвах неоднородна. Разные ее порции имеют разные физические свойства (теплоемкость, плотность, вязкость, химический состав, подвижность молекул, осмотическое давление и т. д.), обусловленные взаимодействием молекул воды между собой и с другими фазами почвы – твердой, газовой, жидкой. *Порции почвенной воды, обладающие одинаковыми свойствами, называют категориями или формами почвенной воды.*

# Категории (формы) и свойства почвенной воды

**1. Твердая вода – лед** – потенциальный источник жидкой и парообразной воды, в которую он переходит в результате таяния и испарения. *Эту воду растения непосредственно не используют.* Появление воды в форме льда может иметь сезонный (сезонное промерзание почвы) или многолетний («вечная» мерзлота) характер. Т. к. почвенная вода – это всегда раствор, температура замерзания воды в почве ниже  $0^{\circ}\text{C}$ .

**2. Химически связанная вода (конституционная и кристаллизационная).** Первая из них представлена гидроксильной группой ОН химических соединений (гидроксиды железа, алюминия, марганца; органические и органоминеральные соединения; глинистые минералы); вторая – целыми водными молекулами кристаллогидратов, преимущественно солей: полугидрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ), гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Конституционную и кристаллизационную воду иногда объединяют общим понятием *гидратной* или *кристаллогидратной* воды.

*Эта вода входит в состав твердой фазы почвы и не является самостоятельным физическим телом, не передвигается и не обладает свойствами растворителя.*



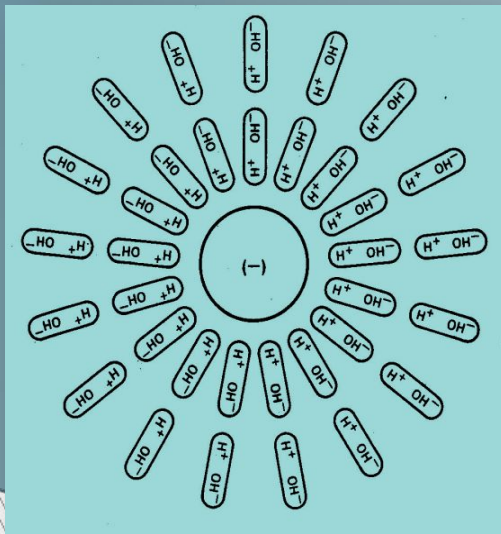
**3. Парообразная вода** содержится в почвенном воздухе, в порах, свободных от воды. Пары воды поступают в почву из атмосферы и постоянно образуются в почве при испарении жидкой воды и льда. Одна и та же почва может поглощать различное количество паров воды из атмосферного воздуха в зависимости от упругости пара: чем она больше, т. е. чем ближе припочвенный воздух к состоянию насыщения водяным паром, тем больше количество парообразно поглощенной воды в почве. Почвенный воздух обычно насыщен парами воды, и небольшое понижение температуры почвы вызывает конденсацию пара → парообразная вода переходит в жидкую; при повышении температуры происходит обратный процесс. Пары воды в перемещаются в почве от участков с высокой упругостью пара к участкам с более низкой упругостью (активное движение), а также вместе с током воздуха (пассивное движение).

**4. Физически связанная, или сорбированная, вода** – вода, сорбированная на поверхности почвенных частиц (обладающих поверхностной энергией) за счет сил притяжения. Молекулы воды при соприкосновении с почвенными частицами притягиваются к ним, образуя вокруг них пленку. Удержание молекул воды происходит силами сорбции.

Молекулы воды могут сорбироваться почвой как из парообразного, так и из жидкого состояния. Благодаря тому, что молекулы воды не являются энергетически нейтральными, а представляют собой диполи (частицы с двумя противоположно заряженными полюсами), они обладают способностью притягиваться не только поверхностью почвенных частиц, но и вступать в связь друг с другом, притягиваясь противоположными полюсами. *Все молекулы сорбированной воды находятся в строго ориентированном положении.* Прочность фиксации их наибольшая вблизи поверхности почвенных частиц, по мере удаления она постепенно убывает. В зависимости от прочности удержания воды *физически связанную воду подразделяют на прочносвязанную и рыхлосвязанную.*

**\* Прочносвязанная (гигроскопическая) вода**

поглощается почвой из парообразного состояния. *Свойство почвы сорбировать парообразную воду – гигроскопичность почвы.* Вода удерживается у поверхности почвенных частиц очень высоким давлением  $\sim (1 - 2) \cdot 10^9$  Па, образуя вокруг почвенных частиц тончайшие пленки. *Высокая прочность удержания делает гигроскопическую воду полностью неподвижной.* По физическим свойствам прочно-связанная вода приближается к твердым телам. Плотность ее достигает  $1,5 - 1,8$  г/см<sup>3</sup>, она *не замерзает, не растворяет электролиты, отличается повышенной вязкостью и недоступна растениям.*

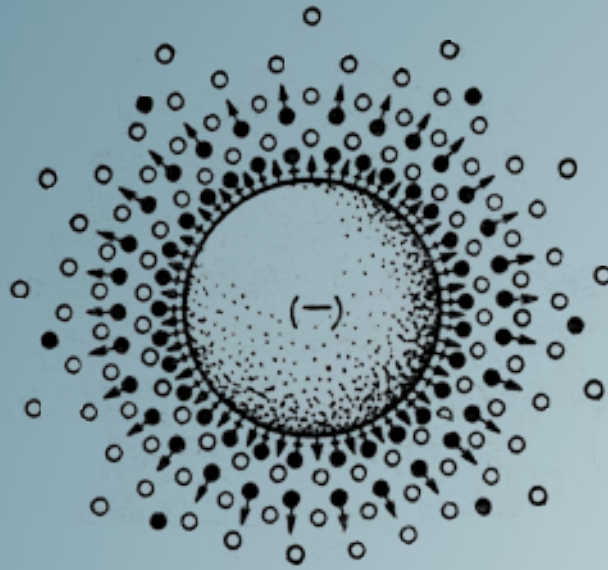


# Схема строения гигроскопической влаги по данным различных авторов



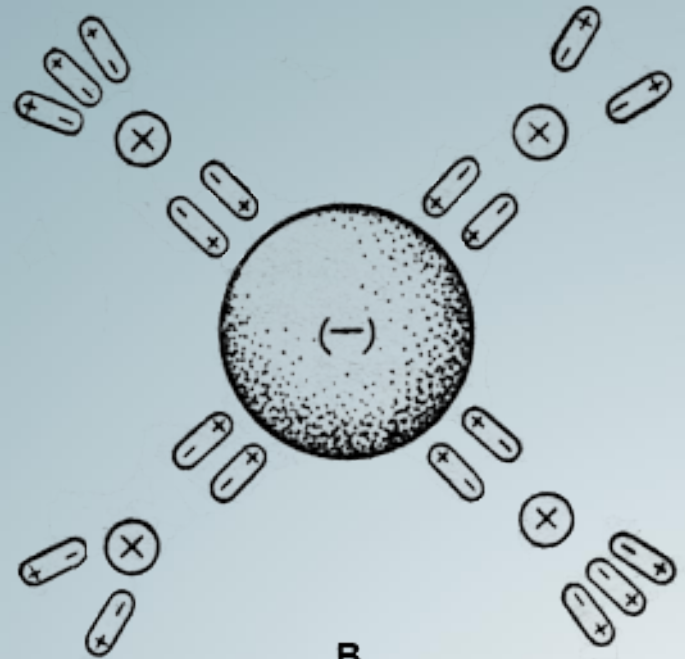
а

○ ○ - Молекулы воды



б

○ ○ - Молекулы воздуха  
● ● - Молекулы воды



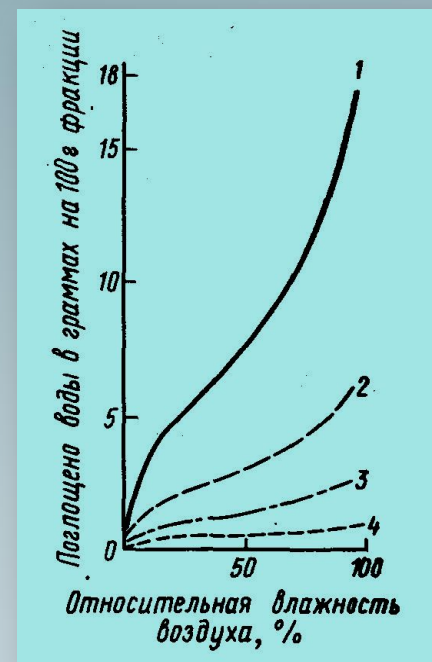
в

○ - Диполи воды  
⊕ - Поглощённые катионы

· Количество водяного пара, сорбируемого почвой, зависит от относительной влажности воздуха, с которым соприкасается почва. Чем она больше, тем большее количество воды сорбируется почвой. При низкой относительной влажности воздуха (20 – 40%) имеет место сорбция воды непосредственно почвенными частицами с образованием моно – бимолекулярного слоя. Дальнейшее увеличение относительной влажности воздуха вызывает увеличение толщины водной пленки. *Предельное количество воды, которое может быть поглощено почвой из парообразного состояния при относительной влажности воздуха 95 – 100%, называют максимальной гигроскопической водой (МГ).* При влажности почвы, равной МГ, толщина пленки из молекул воды достигает 3 – 4 слоев.

· Чем выше в почве содержание илистой и особенно коллоидной фракции, тем выше будет гигроскопичность почв и МГ.

· Гумус также увеличивает гигроскопичность → почвы с более высоким содержанием гумуса при одном и том же гранулометрическом составе всегда имеют бóльшую МГ. В слабогумусированных песках и супесях максимальная гигроскопичность составляет 0,1 – 1%; в сильногумусированных суглинках и глинах 15 – 16%; в торфах 30 – 50%.



- 1 – фракция <0,002 мм
- 2 – 0,002 - 0,006 мм
- 3 – 0,006 - 0,02 мм
- 4 – > 0,02 мм

# Схема строения максимальной гигроскопической влаги по данным различных авторов



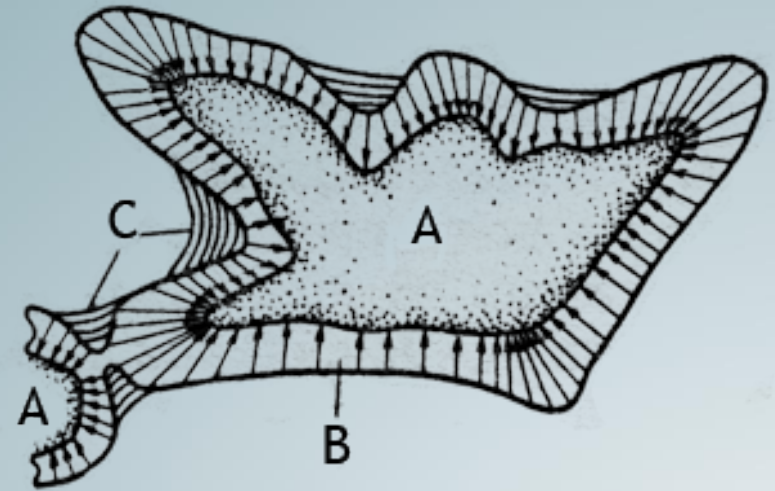
а

ooo - Молекулы воды



б

oo - Молекулы воздуха  
↑↑ - Молекулы воды

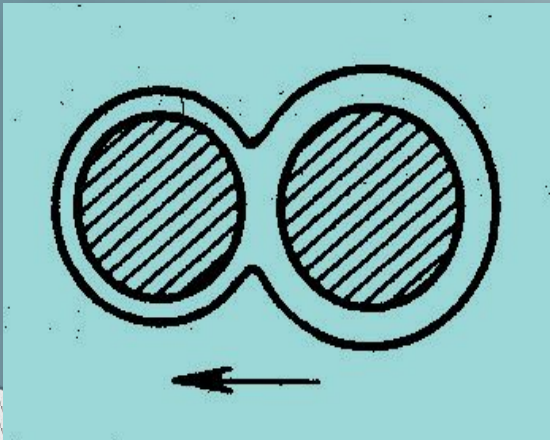


в

А - Почвенная частица  
В - Слои прочно связанной строго ориентированной воды  
С - Вода капиллярной конденсации



\* *Рыхлосвязанная (плёночная) вода.* Почва, насыщенная влагой до состояния МГ, при соприкосновении с водой проявляет способность сорбировать жидкую воду. *Вода, удерживаемая в почве сорбционными силами сверх МГ – это вода рыхлосвязанная, или плёночная.* Она удерживается почвенными частицами с меньшей силой, чем гигроскопическая вода ( $\sim 1 \div 10 \cdot 10^5$  Па). Рыхлосвязанная вода – это также пленка, образовавшаяся вокруг почвенной частицы, но пленка полимолекулярная. Толщина ее может достигать нескольких десятков и даже сотен диаметров молекул воды. Очень тонкие поры могут быть целиком заполнены связанной водой. По физическому состоянию рыхлосвязанная вода очень неоднородна (из-за различной прочности связей молекул различных слоев) → она находится в вязко-жидкой форме, т. е. занимает промежуточное положение между водой прочносвязанной и свободной.

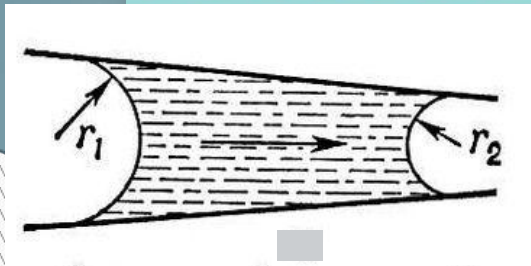
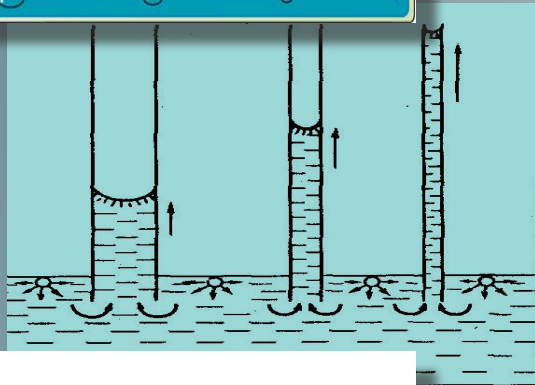
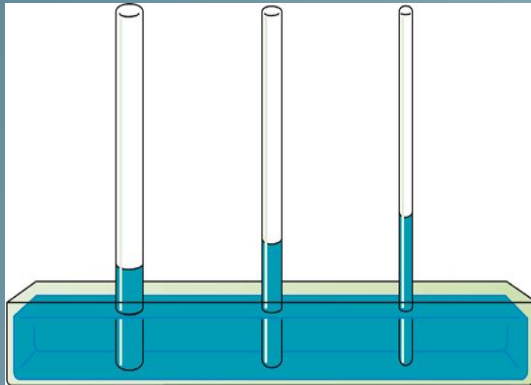


Рыхлосвязанная (плёночная) вода в отличие от прочносвязанной может передвигаться в жидкой форме от почвенных частиц с более толстыми водяными пленками к частицам, у которых она тоньше, т. е. *передвижение этой воды возможно при наличии градиента влажности, но происходит оно очень медленно, со скоростью несколько десятков см в год.* Содержание плёночной воды в почве определяется теми же свойствами почв, что и содержание МГ.

**5. Свободная вода** содержится в почве сверх рыхлосвязанной и находится уже вне зоны действия сорбционных сил притяжения со стороны почвенных частиц → у этой категории воды отсутствует ориентировка молекул воды около почвенных частиц. *Различают две формы свободной воды почве – капиллярную и гравитационную.*

\* **Капиллярная вода** удерживается в почве в порах малого диаметра – капиллярах, под действием капиллярных (менисковых) сил. Возникают эти силы потому, что поверхностный слой жидкости по своим свойствам отличается от внутренних слоев. Если на каждую молекулу воды внутри жидкости равномерно действуют силы притяжения и отталкивания со стороны окружающих молекул, то молекулы, находящиеся в поверхностном слое жидкости, испытывают одностороннее, направленное вниз притяжение только со стороны молекул, лежащих ниже поверхности раздела вода/воздух (силы, действующие вне жидкости, относительно малы и ими можно пренебречь). Т. о., поверхностные молекулы находятся под действием сил, стремящихся втянуть их внутрь жидкости → поверхность любой жидкости стремится к сокращению. Наличие у поверхностных молекул жидкости ненасыщенных, неиспользованных сил сцепления – источник избыточной поверхностной энергии, также стремящейся к уменьшению → на поверхности жидкости образуется как бы пленка, обладающая *поверхностным натяжением* (или *поверхностным давлением*, равным разнице между атмосферным давлением и давлением жидкости).

· Поверхностное давление, развивающееся под плоской поверхностью жидкости (нормальное давление), для воды равно  $1,07 \cdot 10^9$  Па. Давление уменьшается, если поверхность жидкости вогнутая, и увеличивается, если поверхность выпуклая.



· Поверхностное давление жидкости зависит от радиуса искривленной поверхности. Чем он меньше, т. е. чем уже почвенные капилляры, тем давление больше. В капиллярах с вогнутым мениском как бы возникает вакуум, который и поднимает за пленкой столбик воды в капилляре. Вода обладает свойством хорошо смачивать твердые тела. Поэтому при соприкосновении воды с почвенными частицами в порах-капиллярах образуются мениски тем большей кривизны, чем меньше диаметр пор. Смачивание вызывает образование в почвах только вогнутых менисков.

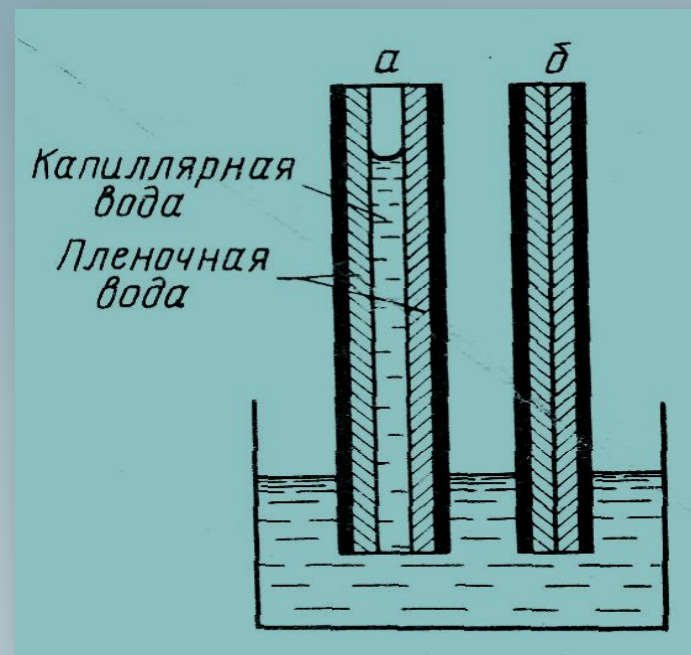
*В почвах менисковые (капиллярные) силы начинают проявляться в порах с диаметром менее 8 мм, но особенно велика их сила в порах с диаметром от 100 до 3 мкм.*

В порах крупнее 8 мм капиллярные свойства не выражены, т. к. сплошной вогнутый мениск здесь не образуется; большая часть поверхности остается плоской, искривление ее наблюдается только у стенок. Поры мельче 3 мкм заполнены в основном связанной водой, и мениски здесь также не образуются.

*Капиллярная вода по физическому состоянию жидкая. Она высокоподвижна, способна восполнять запасы воды в поверхностном горизонте почвы при*

*потреблении ее растениями или при испарении, свободно растворяет вещества и перемещает растворимые соли, коллоиды, тонкие суспензии. Все мероприятия, направленные на сохранение воды в почве или пополнение ее запасов (при орошении), связаны с созданием в почве запасов именно капиллярной воды и уменьшением ее расхода на физическое испарение.*

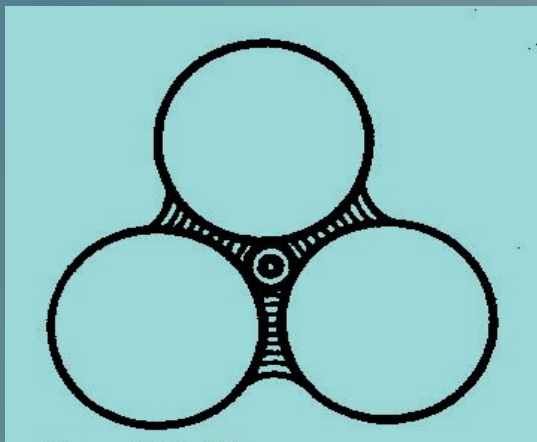
*В зависимости от характера увлажнения различают капиллярно-подвешенную, капиллярно-подпертую и капиллярно-посаженную воду.*



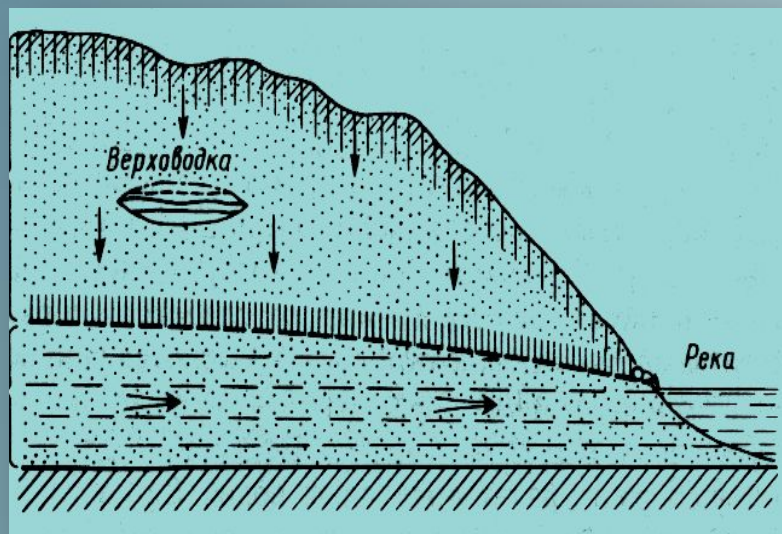
\* *Капиллярно-подвешенная вода* заполняет капиллярные поры при увлажнении почв сверху (после дождя или полива), при этом под промоченным слоем всегда имеется сухой слой, т. е. связь увлажненного горизонта с водоносным горизонтом отсутствует. Вода, находящаяся в промоченном слое, как бы «висит», не стекая, в почвенной толще над сухим слоем. Влажность постепенно уменьшается с глубиной. Подвешенная вода удерживается в почвах достаточно прочно, но до определенного предела, затем начинается стекание воды. Капиллярно-подвешенная вода может передвигаться как в нисходящем направлении, так и вверх, в направлении испаряющейся поверхности. При активном восходящем движении воды у поверхности происходит накопление веществ из почвенного раствора и засоление почв (если в пределах промачиваемого слоя имеется горизонт скопления легкорастворимых солей или если полив осуществляется минерализованными водами). Капиллярно-подвешенная вода сохраняется в почве длительное время, являясь доступной для растений – с экологической точки зрения это наиболее ценная форма воды.

Скорость передвижения капиллярно-подвешенной воды к поверхности, т. е. скорость ее испарения (потери воды из почвы) определяется структурно-

*стью почв. В структурных почвах этот процесс идет медленнее, и вода дольше сохраняется в почве.*



Одна из разновидностей капиллярно-подвешенной воды – *стыковая капиллярно-подвешенная вода*. Она встречается главным образом в песчаных почвах, т. к. в этих почвах преобладают поры, размер которых превышает размер капилляров, и вода присутствует в виде разобщенных скоплений в местах соприкосновения (стыка) твердых частиц в форме двояковогнутых линз («манжеты»), удерживаемых капиллярными силами.



\* *Капиллярно-подпертая вода* образуется в почвах при подъеме снизу от грунтовых вод по капиллярам на некоторую высоту; это вода, подпираемая водоносным горизонтом. *Слой почвы или грунта, содержащий капиллярно-подпертую воду непосредственно над водоносным горизонтом, называется капиллярной каймой*. В почвах тяжелого механического состава она обычно больше (2 – 6 м), чем в почвах песчаных (40 – 60 см). Содержание воды в кайме уменьшается снизу вверх. В песчаных почвах это происходит более резко.



\* *Капиллярно-посаженная вода (подперто-подвешенная)* образуется в слоистой почвенно-грунтовой толще, в мелкозернистом слое при подстилании его слоем более крупнозернистым, над границей смены этих слоев. В слоистой толще из-за изменения размеров капилляров на поверхности раздела тонко- и грубодисперсных горизонтов возникают дополнительные нижние мениски, что способствует удержанию некоторого количества капиллярной воды, которая как бы «посажена» на эти мениски. Поэтому в слоистой толще распределение капиллярной воды имеет свои особенности. Так, на контакте слоев различного гранулометрического состава наблюдается повышение влажности, тогда как в однородных почвогрунтах влажность равномерно убывает либо вниз по профилю (при капиллярно-подвешенной воде), либо вверх по профилю (при капиллярно-подпертой воде). *Влажность слоистой почвенно-грунтовой толщи при прочих равных условиях всегда выше влажности толщи однородной.*

\* *Гравитационная вода* передвигается под действием силы тяжести, т. е. находится вне влияния сорбционных и капиллярных сил почвы. Для нее характерны жидкое состояние, высокая растворяющая способность и возможность переносить в растворенном состоянии соли, коллоидные растворы, тонкие суспензии. Гравитационную воду делят на просачивающуюся гравитационную и воду водоносных горизонтов (подпертая гравитационная вода).

\* *Просачивающаяся гравитационная вода* передвигается по порам и трещинам почвы сверху вниз. Появление ее связано с накоплением в почве воды, превышающей удерживающую силу менисков в капиллярах.

\* *Вода водоносных горизонтов* – это грунтовые, почвенно-грунтовые и почвенные воды (почвенная верховодка), насыщающие почвенно-грунтовую толщу до состояния, когда все поры и промежутки в почве заполнены водой (за исключением пор с заземленным воздухом). Эти воды могут быть либо застойными, либо стекающими в направлении уклона водоупорного горизонта. Удерживаются они в почве вследствие малой водопроницаемости подстилающих грунтов.





Присутствие значительных количеств свободной гравитационной воды в почве — явление неблагоприятное, свидетельствующее о временном или постоянном избыточном увлажнении, что приводит к созданию в почвах анаэробной обстановки и развитию глеевого процесса. *Осушительные мелиорации направлены на уменьшение запасов свободной гравитационной воды в почвах.*

Разграничивая содержащуюся в почве воду на отдельные категории или формы в зависимости от ее фазового состояния и природы сил, удерживающих ее в почве (сорбционные, капиллярные, сила тяжести), нужно понимать, что *любое разделение воды является условным*, так как вода в почве практически находится одновременно под действием нескольких сил с преобладающим влиянием силы какого-либо одного вида, и, говоря о действии на воду сил той или иной природы, имеют в виду их преобладающее влияние.

**Почвенный воздух**, или газовая фаза – важнейшая и наиболее мобильная составная часть почвы, находящаяся в тесном взаимодействии с твердой, жидкой и живой фазами; её изменчивость отражает биологические и биохимические ритмы почвообразования. *Почвенным воздухом называется смесь газов и летучих органических соединений, заполняющих поры почвы, свободные от воды.* Количество и состав почвенного воздуха влияют на развитие и функционирование растений и микроорганизмов, на растворимость и миграцию химических соединений в почвенном профиле, на интенсивность и направленность почвенных процессов. Главные источники газовой фазы почвы – атмосферный воздух и газы, образующиеся в самой почве. С атмосферным воздухом в почву поступает кислород, необходимый для дыхания корней растений, аэробных микроорганизмов, почвенной фауны. В процессе дыхания  $O_2$  потребляется с выделением  $CO_2$ .



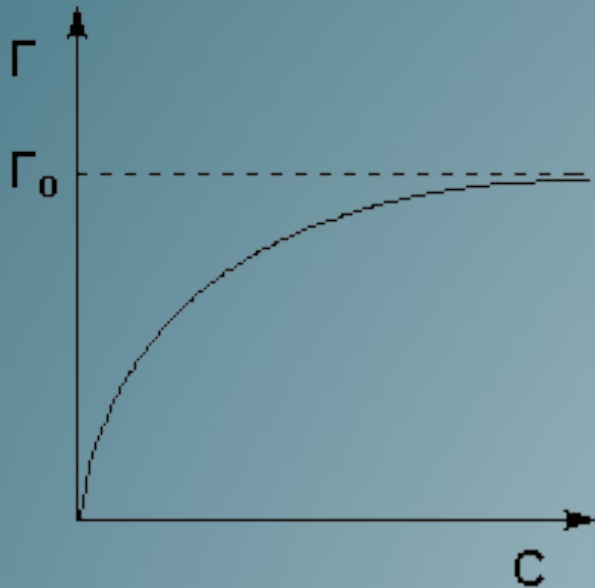
Большинство растений не может существовать без непрерывного притока  $O_2$  к корням и вывода  $CO_2$  из почвы. Если изолировать почву от атмосферного воздуха, то кислород в ней израсходуется полностью через несколько суток → почвенный воздух обеспечивает живые организмы кислородом только при условии постоянного обмена с атмосферным воздухом. *Процесс обмена почвенного воздуха с атмосферным – газообмен (аэрация) – важнейший фактор, определяющий продуктивность почв.*

# Формы почвенного воздуха

*Газы и летучие органические соединения находятся в почве в нескольких физических состояниях: собственно почвенный воздух – свободный и заземлённый, адсорбированные и растворенные газы.*

*\* **Свободный почвенный воздух** – это смесь газов и летучих органических соединений, свободно перемещающихся по системам почвенных пор и сообщающихся с воздухом атмосферы. Свободный почвенный воздух подвижен, обеспечивает аэрацию почв и газообмен между почвой и атмосферой. Наибольшее значение имеет воздух некапиллярных пор, практически всегда свободных от воды.*

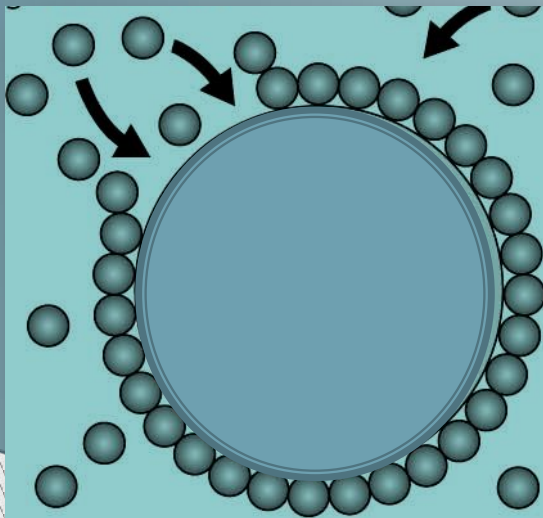
*\* **Заземлённый почвенный воздух** находится в порах, со всех сторон изолированных водными пробками. Чем более тонкодисперсна почвенная масса и компактней ее упаковка, тем большее количество заземлённого воздуха она может иметь. В глинистых почвах содержание заземлённого воздуха может быть  $>12\%$  от общего объёма почвы или более четверти всего её порового пространства. Заземлённый воздух неподвижен, практически не участвует в газообмене между почвой и атмосферой, существенно препятствует фильтрации воды в почве, может вызывать разрушение почвенной структуры при колебаниях температуры, атмосферного давления, влажности.*



\* *Адсорбированный почвенный воздух* – газы и летучие органические соединения, адсорбированные поверхностью твердой фазы почвы. Количество сорбированного воздуха зависит от минералогического и гранулометрического состава почв, от содержания органического вещества, влажности. Адсорбция газов сильнее проявляется в почвах тяжелого механического состава, богатых органическим веществом. Песок поглощает воздуха в 10 раз меньше, чем тяжелый суглинок. Мелкодисперсный кварц сорбирует  $\text{CO}_2$  в 100 раз меньше, чем гумус.

Газы адсорбируются в зависимости от строения их молекул, дипольного момента в такой последовательности:  $\text{N}_2 < \text{O}_2 < \text{CO}_2 < \text{NH}_3 < \text{H}_2\text{O}$ .

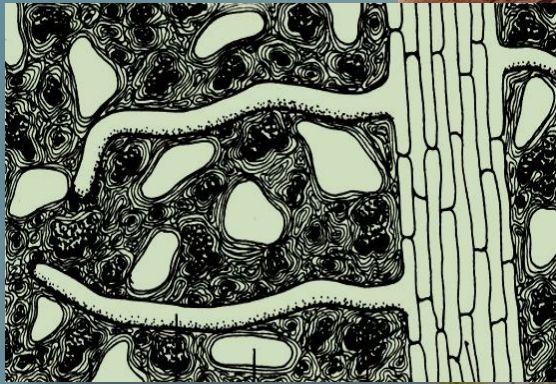
Наибольшее количество адсорбированного воздуха характерно для сухих почв, так как твердые частицы почвы активнее поглощают пары воды, чем газы → при влажности почв выше МГ вода вытесняет поглощенные газы.



\* *Растворённый почвенный воздух* – газы, растворенные в почвенной воде. Растворимость газов возрастает с повышением их концентрации в свободном почвенном воздухе, а также с понижением температуры почвы. Хорошо растворяются в воде аммиак, сероводород, углекислый газ. *Растворимость кислорода сравнительно небольшая.*

Растворённый воздух ограниченно участвует в аэрации почвы, так как диффузия газов в водной среде затруднена. Однако растворённые газы играют большую роль в обеспечении физиологических потребностей растений, микроорганизмов, почвенной фауны, а также в физико-химических процессах, протекающих в почвах. С насыщением почвенного раствора  $\text{CO}_2$  повышается растворимость карбонатов, гипса и других минеральных соединений. Растворённый кислород поддерживает окислительные свойства почвенного раствора. В зависимости от температуры почвы и активности биохимических процессов содержание кислорода в почвенных растворах изменяется от 0 до 14 мг/л. Высокая насыщенность кислородом (6 – 14 мг/л) почвенного раствора отмечается ранней весной, когда почвы переувлажнены водой, обогащенной  $\text{O}_2$ , а расход его в почве ещё невелик вследствие низкой биологической активности. Без пополнения запасы растворённого кислорода в почве быстро расходуются. Потребность в  $\text{O}_2$  корней растений удовлетворяется главным образом за счет свободного почвенного воздуха, обеспечивающего постоянную аэрацию между почвой и атмосферой.

Все четыре почвенные фазы – твёрдая, жидкая, газообразная и живая – тесно связаны между собой, находятся в сложном взаимодействии, образуя единую систему. Процессы сорбции – десорбции, растворения – дегазации в условиях изменяющихся концентраций, температур, давлений влажности протекают постоянно, и система находится в состоянии подвижного равновесия.



# Состав почвенного воздуха

Современный состав земной атмосферы имеет биогенную природу (В.И. Вернадский), причем огромную роль в формировании атмосферы играет газообмен между ее приземным слоем и почвой. Состав атмосферного воздуха довольно постоянный:  $78,08\%_{об}$   $N_2$ ;  $20,95\%_{об}$   $O_2$ ;  $0,93\%_{об}$   $Ar$ ;  $0,04\%_{об}$   $CO_2$ ; остальные газы присутствуют в незначительных количествах.

Свободный почвенный воздух, несмотря на его связь с атмосферным, имеет ряд особенностей. Почвенный воздух отличается динамичностью.

*Наиболее динамичны в почвенном воздухе  $O_2$  и  $CO_2$ . Их содержание в почвах сильно колеблется в соответствии с интенсивностью потребления кислорода и продуцирования углекислого газа, а также скоростью газообмена между почвой и атмосферой. В почвенном воздухе может содержаться  $CO_2$  в десятки и сотни раз больше, чем в атмосферном воздухе, а концентрация кислорода может снизиться до 15 – 10 % и ниже. Изменение состава почвенного воздуха происходит вследствие процессов жизнедеятельности микроорганизмов, дыхания корней растений и почвенной фауны, а также в результате окисления органического вещества почв. Чем выше биологическая активность почвы, чем более затруднено удаление газов за пределы почвенного профиля, тем сильнее изменяется состав атмосферного воздуха в почве.*

## *Макрогазы почвенного воздуха – $N_2$ , $O_2$ и $CO_2$ .*

\* Содержание *азота* в почвенном воздухе не намного отличается от атмосферного, в почве азот также является значительно преобладающим газом. Исследования динамики содержания молекулярного азота важны при изучении процессов азотфиксации, нитрификации и денитрификации.

\* *Кислород* играет огромную роль в биосфере в целом и в почвенном воздухе в частности. Достаточное содержание  $O_2$  обеспечивает необходимый уровень микробиологической деятельности, дыхания корней растений и почвенных животных, при этом в почве преобладают аэробные процессы окисления. Дефицит  $O_2$  угнетает развитие корневых волосков, вызывает массовую гибель всходов растений, провоцирует развитие болезнетворных микроорганизмов, вызывающих корневую гниль. Полный анаэробный процесс, начинается при снижении содержания  $O_2$  до 2,5%, однако длительное сохранение концентрации  $O_2$  порядка 10 – 15% уже угнетает воздухолюбивые культуры. *Содержание  $O_2$  в почвенном воздухе контролирует окислительно-восстановительный режим почв.* Концентрации  $O_2$  в почвенном воздухе различных почв в разные сезоны колеблются в широких пределах от десятых долей процента до 21,0%.



\* *Диоксид углерода.* Процессы дыхания и разложения, непрерывно протекающие в почвах, постоянно пополняют атмосферные запасы  $\text{CO}_2$ . Существует мнение, что  $\text{CO}_2$  атмосферы на 90% имеет почвенное происхождение. Биологическое значение этого газа многосторонне. С одной стороны, он обеспечивает ассимиляционный процесс растений (искусственное повышение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере теплиц вызывает увеличение скорости фотосинтеза и дает 50 – 100%-ный прирост урожая). В то же время избыток ( $>3\%$ )  $\text{CO}_2$  в составе почвенного воздуха угнетает развитие растений, замедляет прорастание семян, сокращает поступление воды в растительные клетки. Т. о., оптимальные уровни концентраций  $\text{CO}_2$  в составе почвенного воздуха колеблются от 0,3 до 3,0%.


Велика почвенно-геохимическая роль диоксида углерода. Вода, насыщенная  $\text{CO}_2$ , растворяет многие труднорастворимые соединения – кальцит  $\text{CaCO}_3$ , доломит  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$ , сидерит  $\text{FeCO}_3$ . Это вызывает миграцию карбонатов в почвенном профиле и в сопряженных геохимических ландшафтах:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

Показателем биологической активности почв является «дыхание почв» – скорость выделения  $\text{CO}_2$  за единицу времени с единицы поверхности. Интенсивность «дыхания почв» колеблется от 0,01 до 1,5 г/(м<sup>2</sup>·ч) и зависит от почвенных и погодных условий, физиологических особенностей растительных и микробиологических ассоциаций, фенофазы, густоты растительного покрова.

*Микрогазы почвенного воздуха.* В почвенном воздухе содержатся  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ , предельные и непредельные углеводороды (этилен, ацетилен, метан), водород, сероводород, аммиак, меркаптаны, терпены, фосфин, спирты, эфиры, пары органических и неорганических кислот. Происхождение микрогазов связывают с непосредственным метаболизмом микроорганизмов, с реакциями разложения и новообразования органических веществ в почве, с трансформацией в ней удобрений и гербицидов, с поступлением их в почву с продуктами техногенного загрязнения атмосферы. Концентрации микрогазов и летучих компонентов зачастую не превышают  $1 \cdot 10^{-9} - 10^{-12}\%$ , но этого может быть вполне достаточно для ингибирующего действия на почвенные микроорганизмы и снижения биологической активности почв.

Газообмен почвы с атмосферой может быть затруднён либо плотным сложением почвы, либо избыточным увлажнением, когда вода занимает не только капиллярные пространства, но и макропоры → в почвенном воздухе резко уменьшается содержание кислорода и начинают развиваться анаэробные микробиологические процессы, приводящие к образованию метана, сероводорода, аммиака и других газов.

*Основной механизм переноса газов в почве – диффузия – перемещение газов под действием градиента концентраций.* Остальные факторы – конвективный (под действием температурных градиентов) и гравитационный перенос, перенос газов при изменении атмосферного давления – имеют подчиненное значение.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ :)**