

## **Тема. Свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений**

Физические, химические и биологические свойства почвы определяют условия питания растений, потребность в удобрениях и, следовательно, рост, развитие растений, урожайность и качество возделываемых культур.

Общий запас элементов питания в почве и содержание их в доступных для растений формах, интенсивность процессов перехода элементов питания из неусвояемого состояния в усвояемое и обратно в значительной степени определяют условия питания растений и потребность в удобрениях. В зависимости от состава и свойств почвы общий запас и количество усвояемых элементов питания в разных почвах неодинаковы, поэтому отзывчивость растений на удобрения и эффективность их на разных почвах также различны.

Важное свойство почвы – ее поглотительная способность, под которой понимают способность почвы поглощать и удерживать твердые, жидкие и газообразные вещества. Благодаря поглотительной способности почвы элементы питания удерживаются от вымывания и используются растениями.

Основные направления в оптимизации систем питания растений – улучшение почвенных условий и применение удобрений в полном соответствии с биологическими особенностями возделываемых сельскохозяйственных культур. Один из решающих факторов рационального использования почв – расширенное воспроизводство их плодородия как основы получения высоких и стабильных урожаев.

### **Состав и свойства минеральной и органической частей почвы**

Почва состоит из твердой, жидкой (почвенный раствор), газообразной (почвенный воздух) фаз.

Твердая фаза почвы состоит из минеральной и органической частей, которые содержат основной запас питательных элементов для растений. На минеральную часть приходится 90-99 % твердой фазы почвы, на органическую – 1-10 %. Почти половина твердой фазы почвы (49 %) приходится на кислород, одна треть – на кремний, более 10 % – на алюминий и железо и только 7 % – на остальные элементы. В почве кроме макроэлементов содержится некоторое количество микроэлементов.

Азот практически полностью (95-97 %) содержится в органической части почвы, углерод, фосфор, сера, кислород и водород – как в минеральной, так и в органической, калий – только в минеральной части почвы.

### **Минеральная часть почвы**

Минеральная часть почвы представлена различными по размерам частицами пород первичных и вторичных минералов, аморфных соединений. Она возникла в результате выветривания горных пород и минералов и их превраще-

ний в процессе почвообразования. Почвы наследуют геохимические особенности почвообразующих пород.

Гранулометрический состав почвы зависит от минералогического состава, влияет на химический и определяет многие физические, физико-химические и химические свойства почвы.

В песчаных и супесчаных почвах преобладают первичные минералы, суглинистые состоят из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые – преимущественно из вторичных минералов с примесью кварца.

Полевые шпаты и слюды при трансформации во вторичные минералы служат источником калия, кальция, магния, железа и других элементов для растений.

Физико-химическое выветривание нельзя отделить от биологического преобразования пород, минералов и других соединений под воздействием живых организмов почвы и продуктов их жизнедеятельности (кислоты, ферменты).

Первичные минералы – кварц, полевые шпаты, слюды – входят в материнские почвообразующие породы и присутствуют в виде частиц песка (0,05 до 1 мм), пыли (0,001 до 0,05 мм) и меньше в виде илистых (менее 0,001 мм) и коллоидных (менее 0,25 микрона) частиц. При разрушении минералов под влиянием химических процессов и жизнедеятельности различных организмов образуются гидраты полуторных оксидов, гидраты кремнезема, различные соли и вторичные минералы. Вторичные минералы находятся в почве преимущественно в виде илистых и коллоидных частиц и редко в виде пылеватых частиц.

По химическому составу минералы подразделяются на кремнекислородные соединения, или силикаты (кварц), и алюмокремнекислородные соединения, или алюмосиликаты (полевой шпат, мусковит, биотит).

Регулирование водно-воздушного режима конкретных почв соответствующими обработками в сочетании с применением органических и минеральных удобрений, известкованием почв улучшает корневое и воздушное питание растений, способствует развитию почвенных микроорганизмов, повышает урожайность и качество сельскохозяйственных культур.

Жидкая фаза – почвенный раствор – наиболее активная и подвижная часть почвы, в которой совершаются разнообразные химические процессы и из которой происходит поглощение питательных элементов растениями. Жидкая фаза образуется из воды, поступающей с осадками, из грунтовых и паводковых вод, при конденсации водяных паров и растворимых в почвенном растворе веществ твердой и газообразной фаз. Большое значение имеют концентрация и степень диссоциации растворенных веществ, от которых зависит осмотическое давление почвенного раствора и поглощение корнями воды и питательных элементов. Состав и концентрация почвенного раствора заметно изменяются под влиянием различных факторов. Поступление солей в него происходит в результате выветривания и разрушения минералов, разложения органических веществ в почве, внесения минеральных и органических удобрений. Уменьшение концентрации почвенного раствора происходит при вымывании растворимых соединений в нижележащие горизонты, разбавлении за счет выпадающих осадков, усвоении питательных элементов сельскохозяйственными культурами. Состав

и концентрация солей в растворе зависят также от взаимодействия его с твердой фазой почвы, от обменных реакций между раствором и почвенными коллоидами.

Питание растений различными веществами осуществляется через почвенный раствор. При недостатке влаги резко снижается поступление элементов питания в растения. Следовательно, удобрения эффективно действуют только при достаточном количестве влаги в почве.

Газообразная фаза почвы – почвенный воздух – результат взаимодействия атмосферного воздуха и образующихся в почве газов играет важную роль в жизни растений, их корней и аэробных микроорганизмов. Почвенный воздух находится в некапиллярных порах (больших промежутках в почве), так как в капиллярах большей частью находится вода.

В почве постоянно происходит потребление кислорода и выделение  $\text{CO}_2$ . В связи с этим почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием диоксида углерода и меньшим – кислорода. В атмосферном воздухе содержится 0,03 % диоксида углерода, а в почвенном – до 0,3-1 %, а иногда 2-3 % и более.

### **Органическая часть почвы**

Органическое вещество почвы, хотя и составляет небольшую часть твердой фазы, является наиболее важным показателем плодородия почв и играет большую роль в питании растений. Органическое вещество почвы – это совокупность всех органических веществ, находящихся в форме гумуса и остатков животных и растений. Органические вещества твердой фазы почвы подразделяются на две большие группы:

1. Гумусовые или перегнойные вещества специфической природы.

2. Негумифицированные вещества растительного и животного происхождения, остатки растений, червей, насекомых, тела микроорганизмов.

Гумус – часть органического вещества почвы, представленная совокупностью специфических и неспецифических органических веществ почвы, за исключением соединений, входящих в состав животных организмов и их остатков. В процессе гумификации происходит новообразование сложных продуктов – собственно гумусовых соединений. На их долю приходится 85-90 % всей органической части почвы, и, по существу, они являются формой аккумуляции солнечной энергии на земле. Гумус концентрирует энергию солнца, перераспределяет ее и обеспечивает энергией последовательную цепь организмов, выполняющих значительную механическую работу, а также биохимические и химические реакции, составляющие сущность почвообразования.

Негумифицированные органические вещества – это отмершие, но еще не разложившиеся или полуразложившиеся остатки растений и микроорганизмов. На площади 1 га в почву ежегодно поступает 5-10 т растительных остатков и 0,7-2,4 т продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Негумифицированные органические вещества сравнительно легко разлагаются в почве. Содер-

жащиеся в них элементы питания (азот, фосфор, сера и др.) переходят в доступные для растений формы.

Одновременно в почве идут процессы гумификации растительных и животных остатков и образуются специфические гумусовые вещества. Гумус состоит из гуминовых кислот, фульвокислот, гиматомелановых кислот и гуминов.

Гуминовые кислоты – группа темноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и нерастворимых в кислотах. Они представляют собой гетерогенную группу высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот, включающих ароматические циклы и алифатические цепи.

Фульвокислоты – группа гумусовых кислот, растворимых в воде, щелочах и кислотах. Фульвокислоты – гумусовые вещества желтой или красноватой окраски. В структуре фульво-, как и гуминовых кислот, установлены ароматические и алифатические группы. Однако ароматическая часть их в молекуле выражена менее ярко, в основном преобладают боковые цепи, т. е. алифатические, углеводные и аминокислотные компоненты. По составу фульвокислоты различных типов почв менее разнообразны. Они обладают высокой подвижностью, значительно более низкими молекулярными массами, чем другие группы гумусовых веществ.

Гумифицированные вещества почвы более устойчивы к микробиологическому разложению, чем негумифицированные соединения. Гумус является не только источником питательных элементов для растений, но и оказывает прямое влияние на водно-физические свойства почвы. С увеличением содержания в почве углерода уменьшается плотность почвы, увеличивается порозность и влагоемкость.

Для тяжелых глинистых и суглинистых почв положительная роль гумуса определяется его влиянием на рыхлость, аэрацию, устранение избыточной влажности, т. е. установление более благоприятных условий для роста и развития растений.

Специфическая роль гумуса в оструктуривании определяется, главным образом, подвижными, гидрофильными компонентами, входящими в его состав.

Отличительная особенность органического вещества дерново-подзолистых почв Республики Беларусь – высокое содержание углерода нерастворимого остатка (30-40 % валового содержания и более), что обусловлено использованием длительное время в качестве компонента торфо-навозных компостов больших количеств торфа, в состав которого входят специфические вещества (битум 4-5 %, лигнин 17-18 %), слабо поддающиеся микробиологическому воздействию и не участвующие в почвообразовании и питании растений.

### **Поглотительная способность почвы**

Способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из растворов и удерживать их называется поглотительной способностью почвы. Большой вклад в изучение поглотительной способности почвы внес К. К. Гедройц. В его трудах исследование поглотительной способности почв тесно увязано с многочисленными теоретическими и практическими вопросами при-

менения удобрений, питания растений, химической мелиорации почв и т. д. К. К. Гедройц выделил пять видов поглотительной способности почв: механическую, физическую, химическую, физико-химическую или обменную, и биологическую.

Механическая поглотительная способность – это наиболее простой вид поглощения, которое происходит благодаря наличию в почве тончайших пор и капиллярных ходов. Мелкие твердые частицы, взвешенные в фильтрующейся через почву воде, задерживаются, т. е. механически поглощаются. Механическая поглотительная способность зависит от гранулометрического и агрегатного состава почвы и ее сложения, у песчаных почв она минимальная, у глинистых – максимальная. Механически первоначально поглощаются фосфоритная мука, известковые удобрения (любой степени измельчения), микроорганизмы. Благодаря механической поглотительной способности из почвы не вымываются илистые частицы и нерастворимые в воде удобрения.

Физическая поглотительная способность почвы – это способность ее положительно или отрицательно адсорбировать газы, молекулы солей, спиртов, щелочей и других веществ. Растворенное вещество притягивается или отталкивается поверхностью твердых частиц почвы. Интенсивность физического поглощения прямо зависит от количества мелкодисперсных частиц в почве и считается положительным, когда молекулы растворенного вещества притягиваются частицами почвы сильнее, чем молекулы воды, и отрицательным, если сильнее притягиваются молекулы воды. Положительное физическое поглощение аммиака почвой происходит при внесении безводного аммиака или аммиачной воды, отрицательное – растворов нитратов и хлоридов. Это обуславливает высокую подвижность последних в почве, что необходимо учитывать при внесении нитратных и хлорсодержащих минеральных удобрений. Нитратные минеральные удобрения следует вносить ближе к посеву или в подкормку, а содержащие много хлора – с осени, чтобы произошло хотя бы частичное вымывание его, так как большинство культур отрицательно реагирует на хлор.

Химическая поглотительная способность – это способность почвы удерживать ионы путем образования труднорастворимых или нерастворимых в воде соединений в результате химических реакций, происходящих в почве. Наибольшее значение химическое поглощение имеет при превращении соединений фосфора в почве.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность – это способность мелкодисперсных коллоидных частиц почвы (от 0,00025 мм до 0,001 мм), несущих отрицательный заряд, поглощать различные катионы из раствора, причем поглощение одних катионов сопровождается вытеснением в раствор эквивалентного количества других, ранее поглощенных твердой фракцией почвы. Совокупность мелкодисперсных почвенных частиц, обладающих обменной поглотительной способностью, К. К. Гедройц назвал почвенным поглощающим комплексом (ППК).

Почвенные коллоиды подразделяются на органические, минеральные и органо-минеральные. Органические коллоиды представлены гумусовыми веществами (гуминовые кислоты, фульвокислоты и их соли), минеральные – глини-

стыми минералами, как кристаллическими, так и аморфными соединениями (кремниевая кислота, гидраты полуторных оксидов).

Способность органических коллоидов и минералов глин к обмену поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. Поэтому поглощаются катионы солей (удобрений). Положительный заряд имеют коллоидные гидроксиды железа и алюминия, тогда обменно поглощаются анионы  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Обменно поглощаются в почве калийные и многие азотные удобрения.

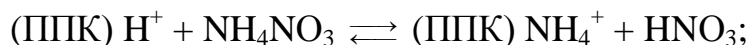
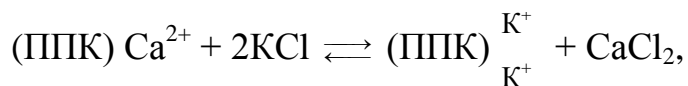
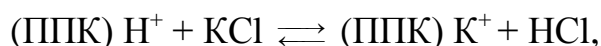
Обменная поглотительная способность имеет большое значение для питания растений и применения удобрений. Поглощенные ППК катионы доступны для растений в обмен на  $\text{H}^+$ , получаемый при диссоциации  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ( $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ ), которая выделяется при дыхании корней растений.

Поскольку поглощенный калий на связных почвах не вымывается из почвы, то повышенные дозы калийных удобрений можно вносить в запас и повышать содержание калия в почве.

Закономерности обменного поглощения катионов:

- реакция обмена между ППК и катионами солевых растворов протекает в эквивалентных соотношениях;

- реакция обмена катионов обратима, т. е. поглощенный катион может быть снова вытеснен в раствор:



- при постоянной концентрации раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, увеличивается с увеличением объема раствора;

- при постоянном объеме раствора количество катионов, вытесняемых из почвы в раствор, повышается с увеличением концентрации раствора вытесняющей соли;

- реакции обменного поглощения в почвах подчиняются закону действующих масс: чем выше концентрация катионов в растворе и чем ниже содержание катионов в ППК, тем больше катионов поглотится почвой;

- реакции обмена катионов при взаимодействии почвы с раствором протекают с большой скоростью, так как обмен катионов происходит на поверхности коллоидных частиц почвы;

- разные катионы поглощаются почвой и удерживаются в поглощенном состоянии с неодинаковой энергией. Чем больше атомная масса и заряд катиона, тем сильнее он поглощается и труднее вытесняется из почвы другими катионами.

Биологическая поглотительная способность почвы состоит в том, что азот и зольные элементы удерживаются почвой в составе органических веществ, об-

разуемых растениями и почвенными микроорганизмами, благодаря чему эти питательные элементы не вымываются из почвы. Биологическое поглощение играет важную роль в превращении нитратных соединений азота в почве. Так, легкорастворимые соли азотной кислоты удерживаются в почве главным образом, будучи усвоенными микроорганизмами. После их отмирания и минерализации они вновь становятся доступными для растений.

Эта же способность почвы может иметь и отрицательные последствия. Если в почву вносится много богатого клетчаткой, но бедного азотом органического вещества (солома; навоз, содержащий много соломы, опилки и другие органические материалы), то микроорганизмы, будучи конкурентами растений, используя клетчатку в качестве энергетического материала, будут интенсивно размножаться и потреблять много азота из почвы. Азотное питание растений может ухудшиться. Поэтому при запашке соломы на удобрение в почву необходимо вносить в расчете на каждую ее тонну 10-12 кг азота или 6-8 т/га жидкого навоза или же высевать зернобобовые культуры.

Известкование кислых почв, комбинированное внесение органических и минеральных удобрений позволяют регулировать интенсивность микробиологических процессов в почве.

### Реакция и буферные свойства почвы

Реакция почвы – физико-химическое свойство почвы, обусловленное соотношением ионов  $H^+$  и  $OH^-$  в ее твердой и жидкой частях. Почва кислая, если в ней преобладают ионы  $H^+$ , и щелочная, если ионы  $OH^-$ . Реакция почвы оказывает большое влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов, на эффективность удобрений, на химические и биохимические процессы в почве. Для количественной оценки реакции почвы применяют различные показатели: рН суспензии почвы в воде или в растворе КСl.

Концентрацию ионов водорода в растворе принято выражать условной величиной рН (отрицательный логарифм концентрации  $H^+$  ионов).

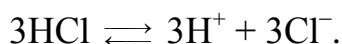
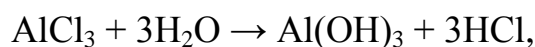
Принято следующее деление минеральных и торфяных почв Республики Беларусь в зависимости от реакции почвенного раствора  $pH_{КСl}$  (табл. 1).

По кислотности почв выделяют актуальную (активную) и потенциальную (скрытую) кислотность. Последняя подразделяется, в свою очередь, на обменную и гидролитическую.

Таблица 1. Градация почв по степени кислотности

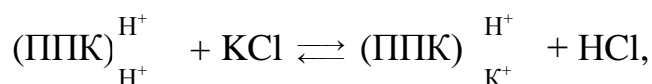
Группы	Степень кислотности	Почвы, $pH_{КСl}$	
		минеральная	торфяная
I	Сильнокислые	Менее 4,5	4,00
II	Среднекислые	4,51–5,00	4,01–4,50
III	Кислые	5,01–5,50	4,51–5,00
IV	Слабокислые	5,51–6,0	5,01–5,50
V	Близкие к нейтральным	6,01–6,50	5,51–6,00
VI	Нейтральные	6,51–7,00	6,01–6,50
VII	Слабощелочные	Более 7,0	Более 6,50

Актуальная кислотность – это кислотность почвенного раствора, обусловленная повышенной концентрацией в нем ионов  $H^+$ , а также слабых минеральных ( $H_2CO_3$ ), органических кислот и гидролитически кислых солей ( $AlCl_3$ ). Последние при гидролизе образуют слабое основание и сильную кислоту:



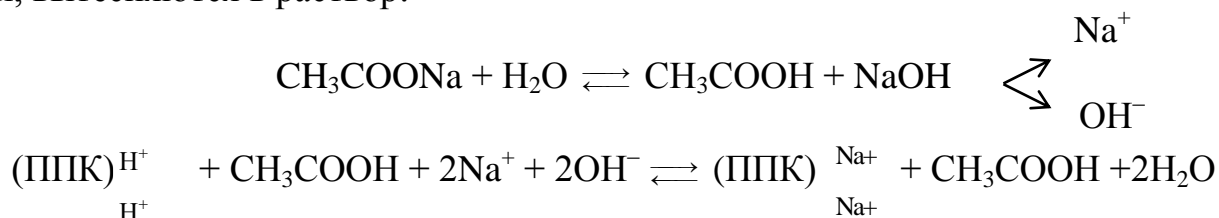
Актуальная кислотность непосредственно влияет на развитие растений и почвенных микроорганизмов.

Потенциальная (скрытая) кислотность обусловлена ионами  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ , поглощенными почвенным поглощающим комплексом (ППК) с отрицательным зарядом. Часть поглощенных ионов водорода и алюминия может быть вытеснена в раствор катионами нейтральных солей (КСl):



в результате чего почвенный раствор подкисляется. Это обменная потенциальная кислотность почвы, выражается рН в КSl.

При обработке почвы уксуснокислым натрием  $CH_3COONa$  или уксуснокислым кальцием  $(CH_3COO)_2Ca$  все ионы, обуславливающие кислотность почвы, вытесняются в раствор:



Эта полная кислотность получила название гидролитической.

Кислотность, обнаруживаемая при обработке почвы раствором  $CH_3COONa$ , включает актуальную и потенциальную кислотность – как обменную, так и собственно гидролитическую (которая не обнаруживается КSl). Гидролитическая кислотность выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Свойства почвы характеризуются также степенью насыщенности основаниями – суммой поглощенных оснований, выраженной в процентах от емкости катионного обмена (ЕКО):

$$V = \frac{S \cdot 100}{T} = \frac{S \cdot 100}{S + H_r},$$

где  $V$  – степень насыщенности почвы основаниями, %;

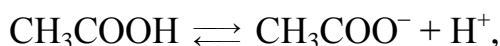
$S$  – сумма поглощенных оснований (кроме  $H^+$ );

$T$  (ЕКО) – поглощательная способность всех катионов, включая ионы водо-

рода, мг-экв/100 г почвы.

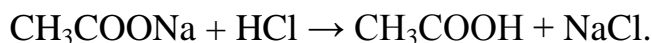
Степень насыщенности основаниями показывает, какая часть общей емкости поглощения приходится на поглощенные основания и какая – на ионы водорода. Например,  $V = 70\%$  означает, что 70 % от общей емкости катионного обмена ( $T$ ) занимают основания и 30 % ионы водорода.

Буферная способность почв. Почвенный раствор подкисляется в результате выделения углекислоты при дыхании корней, образовании  $\text{HNO}_3$  при нитрификации и от продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Реакция почвы изменяется также от применения удобрений. Изменение реакции разных почв под действием этих факторов неодинаково. Способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону называется буферной способностью почвы. Буферность почвы в целом зависит от буферных свойств ее твердой и жидкой частей. Буферность раствора создается слабыми кислотами и их солями. Слабые кислоты диссоциируют не полностью, большая часть их находится в виде недиссоциированных молекул:

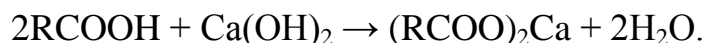
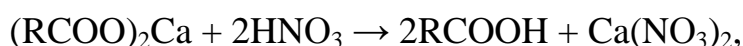


Если к этому раствору прибавить  $\text{NaOH}$ , то произойдет связывание ионов  $\text{H}^+$  с образованием воды и pH изменится мало. Следовательно, слабая кислота будет противодействовать подщелачиванию раствора.

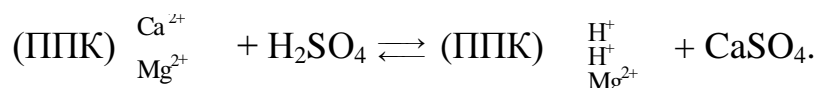
Раствор слабой кислоты и ее соли будет буферным также и против подкисления:



Буферность почвенного раствора обуславливается также водорастворимыми органическими кислотами и их солями:



Чем больше емкость поглощения и степень насыщенности почвы основаниями, тем сильнее почва противостоит подкислению:



Чем больше ионов водорода в почве, тем сильнее она будет противостоять подщелачиванию.

На почвах с низкой буферной способностью (песчаных, супесчаных, бедных гумусом) при внесении физиологически кислых удобрений возможны резкие сдвиги реакции в кислую сторону. На таких почвах вносят также меньшие

дозы извести, чем на суглинистых, так как они слабо противостоят подщелачиванию. Это нужно учитывать при внесении минеральных удобрений и извести.

Многостороннее влияние на питание растений оказывает состояние почвенного поглощающего комплекса, поскольку от его состава и характера зависит содержание питательных элементов в почвах, их подвижность и доступность для растений, поведение вносимых удобрений, что в конечном итоге определяет режим питания растений, специфику системы применения удобрений на различных почвах.

При систематическом внесении минеральных азотных и калийных физиологически кислых удобрений наблюдается подкисление реакции почвенного раствора. В связи с этим интенсивное применение минеральных удобрений должно сочетаться с известкованием.

Прямое действие заключается в нарушении коллоидно-химических свойств протоплазмы растительных клеток, изменении в неблагоприятную сторону концентрации органических кислот в клеточном соке, нарушении белкового обмена и торможении синтеза белка, изменении адсорбции и поглощения растениями ионов.

По силе воздействия на рост и развитие растений реакция почвы в большинстве случаев выступает как главный фактор, ограничивающий урожай.

Агрофизические свойства почвы оказывают существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений. Уплотнение почвы происходит под влиянием естественных факторов – дождя, особенно при отсутствии растительного покрова, и сил гравитации. Однако основной причиной уплотнения является механическое воздействие ходовой системы тракторов, комбайнов, почвообрабатывающих машин, средств для внесения в почву органических и минеральных удобрений и др.

Оптимальная плотность пахотного слоя дерново-подзолистых суглинистых почв для зерновых культур составляет 1,1-1,3 г/см<sup>3</sup>, для картофеля – 1,0-1,2, а супесчаных – 1,2-1,5 г/см<sup>3</sup>. Фактическая плотность значительно выше. В среднем в Республике Беларусь плотность пахотного слоя суглинистых почв превышает оптимальную на 0,18-0,20 г/см<sup>3</sup>, а подпахотного – на 0,35-0,50 г/см<sup>3</sup>. Снижение урожайности сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы происходит в результате ухудшения ее водно-воздушного режима, усиления процесса эрозии почвы и засоренности посевов, отрицательного влияния на усвоение растениями азота, фосфора, калия и других элементов питания.

Применение тяжелых тракторов увеличивает и без того высокую плотность, ухудшает водно-воздушный режим почвы. Максимальное давление всех колесных тракторов на почву весной выше допустимого. Поэтому весенне-полевые работы рекомендуется проводить гусеничными тракторами, а мощные тракторы использовать летом и осенью, когда влажность пахотного слоя не превышает 0,7 % полевой влагоемкости.

Уменьшить плотность пахотного горизонта и увеличить влагоемкость можно, применяя повышенные дозы органических удобрений и обрабатывая почву. Основными причинами снижения урожайности при уплотнении почвы является ухудшение условий для формирования мощной корневой системы.