

Г л а в а 3. СВОЙСТВА ПОЧВЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

3.1. СОСТАВ ПОЧВЫ

Почва — не просто среда размещения корней растений и резервуар элементов питания. Это сложный биологический организм, живущий по своим законам. В почве постоянно протекают физико-химические и биологические процессы превращения (мобилизации) питательных элементов.

Почва состоит из твердой, жидкой (почвенный раствор) и газообразной (почвенный воздух) частей. В твердой части почвы содержатся основные запасы питательных элементов. Она состоит из минеральной (90–99% массы) и органической частей (1–10%). Минеральная часть почвы в свою очередь на 90% состоит из трех элементов: кислорода, кремния и алюминия. Углерод, водород, кислород, фосфор и сера содержатся в почве как в минеральной, так и органической части. Азот почти целиком содержится в органической части, калий — только в минеральной части почвы.

По происхождению минералы делятся на первичные и вторичные. 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 илестых (меньше 0,001 мм) и коллоидных (меньше 0,25 микрона) частиц. При разрушении минералов под влиянием химических процессов и жизнедеятельности различных организмов образуются гидраты подугорных окислов, гидраты кремнезема, различные соли и вторичные минералы — каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, гидрослюда и др. Вторичные минералы находятся в почве преимущественно в виде илестых 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).

Вторичные алюмосиликатные минералы делятся на три группы: монтмориллонитовая, каолинитовая и гидрослю-

дявая. Монтмориллонит обладает высокой дисперсностью, содержит до 80% частиц размером 0,001 мкм, в том числе 60% коллоидных частиц (< 0,25 микрона), обладает высокой набухаемостью, вязкостью. Каолинит содержит до 25% илестых частиц, из них 5–10% коллоидных. Гидрослюда образуются из полевых шпатов и слюд (иллит, хлорит, вермикулит) и по физическим свойствам занимают среднее положение между монтмориллонитом и каолинитом. В минеральной части почвы содержится также небольшое количество фосфатов кальция, магния, железа и алюминия и карбонаты.

Органические вещества твердой части почвы подразделяются на две большие группы: негумифицированные и гумифицированные вещества. Негумифицированные (подвижные) органические вещества — это отмершие, но еще не разложившиеся или полуразложившиеся остатки растений (корни) и микробов (животных). На площади 1 га в почве ежегодно поступает 5–10 т растительных остатков и 0,7–2,4 т продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Негумифицированные органические вещества сравнительно легко разлагаются в почве. Содержащиеся в них элементы питания (азот, фосфор, сера и др.) переходят в доступную для растений минеральную форму. Органические вещества не полностью минерализуются. Одновременно в почве идет синтез новых очень сложных органических веществ, которые служат источником для образования гумусовых, или перегнойных, веществ.

Гумифицированные (перегнойные) органические вещества — это высокомолекулярные азотсодержащие соединения специфической природы. Они составляют основную часть (90%) органического вещества почвы. Гумус представляет собой аккумулятор солнечной энергии на планете.

Гумус состоит из гуминовых кислот, фульвокислот, гимномелановых кислот и гуминов. Гуминовые кислоты представляют собой гетерогенную и полидисперсную группу высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот, включающих ароматические циклы и алифатические цепи. Они извлекаются из почвы целочамами и некоторыми другими растворителями с образованием темноокрашенных растворов — гуматов натрия, калия и аммония. Молекулярная масса гуминовых кислот колеблется десятками тысяч атомных единиц массы. Гуминовые кислоты в зависимости от типа почвы включаются от 30 до 43% углерода, от 32 до 42 — водорода, от 17,5 до 22 — кислорода, от 2,4 до

3% азота. Гуминовые кислоты содержат также фосфор, серу и другие элементы.

Химическими и физико-химическими методами (рентгендифрактометрия, электронная микроскопия, спектрофотометрия и др.) установлено, что основными структурными единицами гуминовых кислот являются ароматические "ядра", в том числе азотсодержащие гетероциклы, боковые цепи и периферические функциональные группы: карбоксильные — COOH , гидроксильные и фенольные OH , метоксильные — $\text{O}-\text{CH}_3$, карбоксильные $=\text{C}=\text{O}$, хинонные $\text{C}=\text{O}$. Боковые цепи гуминовых кислот представлены углеводными, аминокислотными и другими остатками.

Гиматомелановые кислоты — группа гумусовых веществ с промежуточными свойствами между фульвокислотами и гуминовыми кислотами, растворимыми в этаноле. Ранее они включались в группу гуминовых кислот. Отличаются от последних растворимостью в полирных органических растворителях и другими свойствами.

Фульвокислоты — гумусовые вещества желтой или красноватой окраски, которые остаются в растворе после подкисления щелочной вытяжки из почвы и выпадения в осадок гуминовых кислот. Как и гуминовые кислоты, они входят в гетерогенную и полидисперсную группу высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот. Фульвокислоты содержат: от 27 до 30% углерода, от 34 до 42 — водорода, от 25 до 30 — кислорода и от 1,4 до 2,5% азота.

В структуре фульво-, как и гуминовых кислот, установлены ароматические и алифатические группы. Однако ароматическая часть в их молекулах выражена менее ярко и в основном преобладают боковые цепи, т.е. алифатические, углеводные и аминокислотные компоненты. По составу фульвокислоты различных типов почв менее разнообразны и они лучше растворяются в воде, чем гуминовые кислоты. Часть гумусовых веществ настолько прочно связана с минеральной частью почвы, что не извлекается при обработке почвы щелочами и кислотами. Эти "нерастворимые" составляющие гумуса называются гуминами. В тяжелых глинистых почвах нерастворимые образования составляют более 50% гумуса.

Гумифицированные вещества почвы более устойчивы к микробиологическому разложению, чем негумифицированные соединения. Однако разложение гумуса в почве, хотя и медленнее, но происходит. На полях, занятых зерновыми культурами, за вегетационный период разлагается

0,7–0,8 т/га гумуса, пропахивыми — 1,0–1,2 т/га с образванием доступного растениям минерального азота, фосфора, серы. В гумусе содержится около 5% азота, от 1,5 до 2,4% фосфора. В дерново-подзолистых почвах на органические соединения приходится 40% фосфора и 90% серы от общего содержания этих элементов в почве. На степень разложения гумуса влияет гранулометрический состав почвы, содержание гумуса в ней и т.д. Систематическое внесение органических и минеральных удобрений обеспечивает сохранение и накопление запасов гумуса в почве.

Жидкая часть почвы, или почвенный раствор, — это наиболее подвижная, изменяющаяся и активная часть почвы, из которой растения поглощают ионы. В почвенном растворе содержатся минеральные, органические и органико-минеральные вещества, совершаются важные химические процессы. В зависимости от типа почвы и других условий в почвенном растворе могут присутствовать анионы HCO_3^- , NO_3^- , H_2PO_4^- , Cl^- , SO_4^{2-} , и катионы K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , а также соли железа, алюминия и различные водорастворимые органические вещества (сахара, аминокислоты).

Наиболее благоприятная концентрация их в почвенном растворе для растений — 1 т в 1 л (0,1%), в почве концентрация солей ниже: 0,5 т/л (0,05%). Избыток солей в почве (больше 0,2%) вреден для растений. Осмотическое давление почвенного раствора значительно ниже, чем в клеточном соке растений. На состав и концентрацию почвенного раствора воздействуют: удобренность почвы, влажность, интенсивность деятельности микроорганизмов, минерализация органического вещества, вымывания в нижележащие слои, усвоение ионов растениями и т.д.

Газообразная часть почвы, или почвенный воздух, отличается от атмосферного воздуха большим содержанием углекислого газа — от 0,1 до 3% против 0,03% в атмосфере и пониженным содержанием кислорода. В почве при разложении органического вещества, дыхания корней постоянно потребляется кислород и выделяется углекислый газ. На состав почвенного воздуха сильное влияние оказывают характер растительности, атмосферное давление, колебания температуры и т.д.

3.2. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ

Способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из растворов и удерживать их называется поглотительной способностью почвы. Это свойство почвы было известно давно. Еще в середине XIX в. английский ученый Д. Уэй установил, что почвой поглощается не вся соль, а только ее основание, при этом из почвы в раствор переходит такое же количество других оснований.

Большой вклад в изучение поглотительной способности почвы внес К. К. Терройц. В его трудах исследованы поглотительные способности почв тесно увязано с многочисленными теоретическими и практическими вопросами применения удобрений, питания растений, химической мелиорации почв и т. д. К. К. Терройц 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 фильтрующей среде 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.

Физическая поглотительная способность почвы — это способность ее положительно или отрицательно адсорбировать газы, молекулы солей, спиртов, углеводов и других веществ. Растворенное вещество притягивается или отталкивается поверхностно 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. Поглотительное 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 хлора, так как большинство культур отрицательно реагирует на хлор.

Химическая поглотительная способность почвы — это способность почвы удерживать некоторые 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. Химическое поглощение почвой фосфорных удобрений рассматривается в главе 5 "Фосфорные удобрения".

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. Совершенно мелкодисперсных почвенных частиц, обладающих обменной поглотительной способностью, К. К. Терройц назвал *поверхностно поглащающим коллоидом (ППК).*

Почвенные коллоиды подразделяются на органические, *минеральные* и *органоминеральные*. Органические коллоиды представлены гумусовыми веществами (гуминовые кислоты, фульвокислоты и их соли), минеральные — глинистыми минералами, как кристаллическими, так и аморфными соединениями (кремниевая кислота, гидраты полугорных окислов).

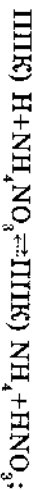
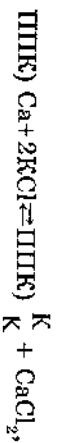
Способность органических коллоидов и минералов глины к обменному поглощению катионов обусловлена их отрицательным зарядом. Поэтому поглощаются катионы солей (удобрений). Положительный заряд имеют коллоидные гидроксиды железа и алюминия, тогда обменно поглощаются анионы NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} . 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 H^+ , получаемый при диссоциации H_2CO_3 ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$), которая выделяется при дыхании корней растений.

Поскольку поглощенный калий не вымывается из почвы, то дозы калийных удобрений можно вносить большие (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 поглощается 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.

Двухвалентные и трехвалентные катионы несут больше электрические заряды и поэтому значительно сильнее притягиваются коллоидными частицами, чем одновалентные. При одинаковой валентности энергия поглощения катионов тем выше, чем больше их атомная масса, так как атомная масса и гидратация катиона находятся в обратной зависимости. Например, к H^+ присоединяется 1 молекула воды, к NH_4^+ — 4,4 молекулы воды, к Na^+ — 8,4 молекулы воды. Слабогидратированные катионы сильнее притягиваются поверхностью коллоидов.

44

По возрастающей способности к поглощению катионы располагаются в следующем порядке: Li ; Na ; NH_4^+ ; K ; Rb ; Cs ; Mg ; Ca ; Ba ; Cd ; Co ; Al ; Fe . Исключение составляет ион H^+ . Он имеет наименьшую атомную массу, но обладает высокой энергией поглощения и способностью вытеснять из поглощающего комплекса другие катионы.

По данным К. К. Тедроуца, энергия поглощения H^+ в 4 раза больше, чем Ca^{2+} , и в 17 раз больше, чем Na^+ . Это связано с тем, что в водных растворах ион водорода присоединяет молекулы воды и образует ион гидроксония (H_3O^+), диаметр которого значительно меньше всех других гидратированных ионов.

Катионы калия, аммония, рубидия и цезия могут частично закреплиться (фиксироваться) почвами в обменной форме. Это связано с тем, что они проникают внутрь кристаллической решетки минералов, входящих в почвенный поглощающий комплекс. Связано это с радиусом катиона. Радиус катиона $\text{K}^+ = 1,33\text{ \AA}$, радиус $\text{NH}_4^+ = 1,43\text{ \AA}$.

Степень обменной фиксации катионов зависит от градиентности азотного и минералогического состава почвы. У черноземов она значительно больше, чем у дерново-подзолистых почв. Необходимая фиксация катионов возрастает при периодическом увлажнении и высыхания почвы. Поэтому калийные удобрения для уменьшения обменной фиксации калия рекомендуется заделывать вспашкой в глубокий, перерыхловый слой почвы или вносить лентами, чередуя с меньшим объемом почвы. Предпочтительнее гранулированные калийные удобрения.

Биологическая поглощательная способность почвы состоит в том, что азот и зольные элементы удерживаются почвой в составе органических веществ, образуемых 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, декоративные соли азотной кислоты удерживаются в почве главным образом будучи усвоенными микроорганизмами. После их отмирания и минерализации они вновь становятся доступными для растений. В среднем на площади 1 га микроорганизмы могут удерживать до 125 кг азота, 40 — фосфора и 25 кг калия.

Эта же способность почвы может иметь и отрицатель-

¹А — ангстрем; 1А = 10⁻¹⁰ см.

ные последствия. Если в почву вносятся много богатого клетчаткой, но бедного азотом органического вещества (солома; навоз, содержащий много соломы), то микроорганизмы, будучи конкурентами растений, используя клетчатку в качестве энергетического материала, будут интенсивно размножаться и потребляют много азота из почвы. Азотное питание растений может ухудшиться. Поэтому при запашке соломы на удобрение в почву необходимо внести в расчете на каждую ее тонну 10-12 кг азота или же высевать зернобобовые культуры или высаживать картофель, так как эти культуры снижают урожайность в меньшей степени, чем зерновые.

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

3.3. РЕАКЦИЯ И БУФЕРНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Реакция почвы — физико-химическое свойство почвы, связанное с содержанием ионов H^+ и OH^- в ее твердой и жидкой частях. Реакция почвы кислая, если в ней преобладают ионы H^+ , и щелочная, если ионы OH^- . Реакция почвы определяется большим влиянием 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 KCl.

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

Принято следующее деление *минеральных и торфяно-болотных почв* в зависимости от реакции почвенного раствора рН^{KCl}:

рН < 4,5 — *сильнокислые* почвы, нуждающиеся в первоочередном известковании (*первая группа кислотности*);

рН 4,51 — 5 — *среднекислые* почвы, требующие известкования, причем минеральные — первоочередного (*вторая группа*);

рН 5,01 — 5,5 — *кислые* почвы, минеральные требуют известкования, торфяно-болотные в нем не нуждаются (*третья группа*);

рН 5,51 — 6,0 — *слабокислые* почвы, минеральные нуждаются в подерживающем известковании (*четвертая группа*);

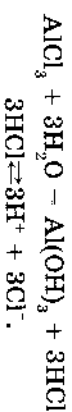
рН 6,0 — 6,50 — *близкие к нейтральным*, в известковании не нуждаются (*пятая группа*);

рН 6,51 — 7,00 — *нейтральные* почвы (*шестая группа кислотности*);

рН > 7,00 — *щелочные* почвы.

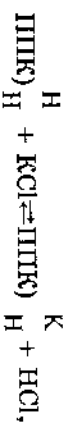
По кислотности почв выделяют *актуальную (активную) и потенциальную (скрытую) кислотность*. Последняя подразделяется, в свою очередь, на обменную и гидролитическую.

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:



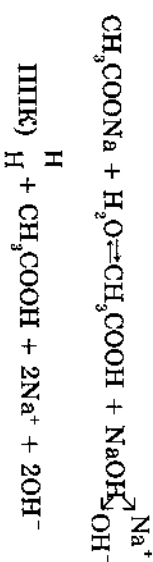
Актуальная кислотность непосредственно влияет на развитие растений и почвенных микроорганизмов.

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



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

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 КСД). Гидролитическая кислотность выражается в мэкв в 100 г почвы.

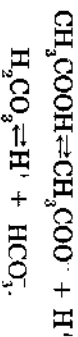
Свойства почвы характеризуются также степенью насыщенности оснований — суммой поглощенных оснований, выраженной в процентах от емкости поглощения:

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

где V — степень насыщенности почвы основаниями, %; S — сумма поглощенных оснований (кроме H^+); T — поглощенная способность всех катионов, включая ионы водорода.

Степень насыщенности основаниями показывает, какая часть общей емкости поглощения приходится на положительные основания и какая — на ионы водорода. Например, V = 70% означает, что 70% от общей емкости (T) занимают основания и 30% — ионы водорода.

Буферная способность почв. Почвенный раствор подкисляется в результате выделения углекислоты при дыхании корней, образования HNO_3 при нитрификации и от продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Реакция почвы изменяется также от 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 NaOH, то произойдет связывание ионов H^+ с образованием воды и pH изменится

мало. Следовательно, слабая кислота будет противоярствовать подщелачиванию раствора.

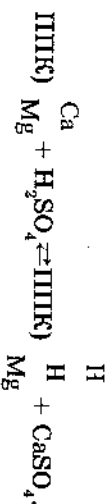
Раствор слабой кислоты и ее соли будет буферным также и против подкисления:



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



Чем больше общая 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 возможен резкий сдвиг реакции в кислую сторону. На таких почвах вносят также меньшие дозы известки, чем на суглинистых, так как они слабо противостоят подщелачиванию. Это нужно учитывать при внесении минеральных удобрений и известки.

3.4. АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ БЕЛАРУСИ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПЛОДОРОДИЯ

В Беларуси 68% территории и свыше 90% папки занимают дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболочиваемые почвы. Дерново-болотные и торфяно-болотные почвы занимают 25% территории. Встречаются пойменные почвы и 0,2% территории составляют высокоплодородные дерново-карбонатные почвы.

Линистые и суглинистые почвы занимают 25,7%, супесчаные — 48,5%, песчаные — 20,1% и торфяные — 5,3%. В Витебской, Могилевской и Минской областях преобладают почвы связанного гранулометрического состава, в Брестской и Гомельской областях более широко представлены легкие почвы.

Уровень плодородия дерново-подзолистых почв обуславливается гранулометрическим составом, водным режимом и агрохимическими свойствами, прежде всего содержанием гумуса, элементов питания и степени кислотности. Более плодородные почвы — глинистые, суглинистые, окультуренные торфяники, а также супесчаные, подстилаемые суглинками. На эти виды почв приходится 71,2% пашни. Больше всего их в Витебской и Могилевской областях (80%) и меньше (50%) в Гомельской и Брестской. Почвы Родненской области по сочетанию всех показателей, определяющих уровень плодородия, более плодородны.

Почвы республики очень пестры по гранулометрическому составу, что связано с разнообразием почвообразующих пород. Гранулометрический состав почв определяется ее водный и питательный режимы. Супесчаные почвы характеризуются менее устойчивым водным режимом в сравнении с суглинками, но в случаях близкого подстилания суглинками по своим свойствам приближаются к последним. Песчаные почвы отличаются очень малой влагоемкостью и, как правило, бедны питательными элементами.

Исследования агрохимической службы республики подтвердили улучшение агрохимических свойств почв главным образом на пахотных землях и на улучшенных сенокосах и пастбищах. Средневзвешенное значение рН в КС1 составляет 5,98, содержание P_2O_5 — 188, K_2O — 175 мг/кг почвы, MgO — 192 мг/кг, на улучшенных сенокосах и пастбищах эти показатели равны соответственно: 5,64, 103, 104, 216 (данные на 1 января 1999 г.). Темпы повышения плодородия наши примерно вдвое выше, чем сенокосов и пастбищ. Это свидетельствует о необходимости переработки удобрений между угодьями. Чтобы увеличить содержание подвижного фосфора и калия на сенокосах и пастбищах на 10 мг в расчете на 1 кг почвы, нужно кроме возмещения выноса с урожаем количества питательных элементов внести 25–30 кг/га фосфорных и 45–50 кг/га калийных удобрений.

По данным БелНИИПА, в настоящее время в республике оптимальную реакцию на пахотных угодьях имеют 72% суглинистых и глинистых почв; 50 — супесчаных и песчаных; 80 — торфяно-болотных. В Минской области сильно- и среднекислые почвы остались только на 0,9% сельхозугодий. В 1991 г. был закончен пятый пилл работ по известкованию кислых почв в Беларуси.

Оптимальный уровень обеспеченности фосфором имеют только 40–45% дерново-подзолистых почв республики, калием — 44%.

В среднем содержание гумуса на пахотных угодьях составляет 2,27%, на улучшенных сенокосах и пастбищах — 2,6%. В связи с уменьшением использования торфа на удобрения и освоение примерно 0,5 млн. га закустаренных земель взамен изъятых из сельскохозяйственного оборота из-за загрязнения радионуклидами в будущем будет труднее поддерживать баланс гумуса на отдельных территориях.

Пахотные земли Беларуси недостаточно обеспечены микроэлементами, особенно бором и медью. Средневзвешенное содержание бора составляет 0,65 мг в 1 кг почвы. Бедные бором почвы (содержание меньше 30 мг/кг) занимают 10,1% пахотных земель. Средневзвешенное содержание меди на пашне — 2,08 мг/кг почвы. Более трети угодий республики испытывают недостаток этого элемента, например в Минской области — 54, в Родненской — 49% угодий имеют почвы с дефицитом меди.

Обобщение результатов многолетних полевых опытов с различными сельскохозяйственными культурами показало тесную связь уровней их урожайности с четырьмя важнейшими агрохимическими показателями почвы: кислотностью, содержанием гумуса, подвижным фосфором и обменным калием.

3.5. ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛОДОРДИЯ ПОЧВ В ИНТЕНСИВНОЙ СИСТЕМЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Модель плодородия почв представляет собой совокупность агрономически значимых свойств и почвенных режимов, отвечающих определенному уровню продуктивности растений. В зависимости от уровня плодородия почв (высокого или среднего) различается сложность построения и реализации модели. Для реализации модели высокоплодородных почв необходимо наряду с учетом агрохимических, агрофизиологических и биологических свойств почв предусмотреть комплекс агрохимических мер (удобрения, мелiorанты, обработка почвы и др.) по достижению и поддержанию оптимальных параметров свойств почвы.

Расширенное воспроизводство плодородия почв и на

этой основе рост урожайности сельскохозяйственных культур должен идти путем оптимизации комплекса свойств почв, включая физико-химические, биологические и др. Состояние почв, степень их соответствия требованиям культурных растений для формирования высоких урожаев оценивается степенью окультуренности почвы. В качестве показателей окультуренности почв используются показатели, контролируемые агрохимической службой: уровень кислотности (рН); содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия. Установлены оптимальные параметры этих показателей для основных типов почв республики, соответствующие высшей степени окультуренности почв (табл. 3.1).

3.1. Оптимальные параметры агрохимических свойств почв Беларуси

Показатели	Дерново-подзолистые			Торфяно-болотные	Минеральные почвы сенокосов и пастбищ
	суглинистые	супесчаные	песчаные		
Содержание гумуса, %	2,5-3,0*	2,0-2,5	1,8-2,2	3,5-4,0
	2,8	2,3	2,0	3,8
Кислотность почвы, рН в КС1	6,0-6,7	6,0-6,2	5,6-5,8	5,0-5,3	6,0-6,5
	6,4	6,1	5,7	5,1	6,2
Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы	260-300	210-250	160-200	600-1000	120-200
	280	230	180	800	160
Содержание подвижного калия, мг/кг почвы	220-250	200-240	140-200	600-800	150-200
	240	220	170	700	180

* В числителе — зона оптимума, в знаменателе — среднее значение.

Анализ результатов полевых опытов с удобрениями, проведенных научными учреждениями и агрохимической службой республики, показал, что контролируемые агрохимические свойства дерново-подзолистых почв на 58-77% определяют уровень урожайности зерновых культур на фоне полного минерального удобрения и на 20-50% — вели-

чину прироста урожая от азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Существующие градации диагностических признаков степени окультуренности почв нуждаются в периодическом уточнении в полевых экспериментах по мере введения в практику новых сортов и элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

В пределах от минимальных до оптимальных значений каждого показателя установлена достоверная корреляция с величиной урожая сельскохозяйственных культур и определено изменение урожая на единицу измерения агрохимических свойств. Например, установлено, что прирост урожая по мере повышения содержания фосфора, калия и гумуса в почве постепенно снижается. Так, на суглинистых и супесчаных подстигаемых морской почвах на каждые 10 мг/кг P_2O_5 в диапазоне 30-100 мг/кг продуктивности изувачившихся культур повышается на 132 к.ед. на 1 га, в интервале 101-150 мг/кг P_2O_5 прирост составлял 108 к.ед. на 1 га, 151-200 мг/кг P_2O_5 — 101 к.ед., 200-250 мг/кг P_2O_5 — 68 к.ед. на 1 га.

Аналогично уменьшается прирост продуктивности культур при повышении содержания калия в 1 кг почвы в расчете на каждые 10 мг K_2O . На суглинистых почвах при содержании K_2O в диапазоне от 30 до 80 мг урожайность с 1 га повышалась на 122 к.ед.; 81-140 мг — на 98 к.ед.; 141-200 мг — на 70 к.ед. Продуктивность тех же культур по мере увеличения содержания гумуса на 0,1% в диапазоне 1-2% повышалась на 90 к.ед. с 1 га, а при дальнейшем повышении запасов гумуса — только на 25 к.ед.

Для количественной оценки плодородия почв Беларуси используется также комплексный показатель — индекс агрохимической окультуренности почв, где каждый из показателей (рН, содержание P_2O_5 , K_2O , гумус) выражен в относительных величинах, а за 1 приняты средние оптимальные значения этих свойств почв. Относительные индексы (I_{opt}) каждого свойства рассчитываются по формуле:

$$I_{opt} = \frac{X_{факт} - X_{мин}}{X_{opt} - X_{мин}}$$

где $X_{факт}$ — фактическое значение свойства по данным анализа; $X_{мин}$ и X_{opt} — соответственно минимальное и оптимальное значения показателей для данной почвы.

Для использования на практике установлены следующие минимальные агрохимические показатели минеральных почв: рН (КСl) — 3,5; по 20 мг/кг почвы P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову); 0,5% гумуса. Для торфяно-болотных почв минимальный показатель содержания P_2O_5 и K_2O — 100 мг/кг почвы.

Если фактический показатель больше оптимального, то условно I_{opt} этого свойства принимается равным 1. После определения относительных индексов всех показателей рассчитывается индекс окультуренности ($I_{ок}$) как среднее арифметическое относительных индексов:

$$I_{ок} = (I_{рН} + I_{P_2O_5} + I_{K_2O} + I_{гум}) : 4.$$

Индекс окультуренности почв может изменяться в большом диапазоне — от 0,2 до 1. Этот показатель удобен в расчетах и позволяет объективно сравнивать степень окультуренности почв.

По результатам 405 полевых опытов, повышение индекса окультуренности почв с 0,3 до 0,9 сопровождалось увеличением урожайности зерновых культур с 21–24 до 37–41 ц/га, картофеля — с 214 до 307 ц/га, т.е. продуктивность 1 га пашни повышалась с 32,8 до 53,7 к.ед. (табл. 3.2).

3.2. Зависимость урожая основных сельскохозяйственных культур от степени окультуренности дерново-подзолистых почв, ц/га

Индекс окультуренности ($I_{ок}$)	Урожайность, ц/га; дозы удобрений				Выход кормовых единиц с учетом структуры посевов
	озимая рожь; $NPk_{100\ 200}$	ячмень; $NPk_{100\ 200}$	лен (соломка); $NPk_{100\ 100}$	картофель; 40–60 т пшавы, $NPk_{200\ 200}$	
0,3	20,7	24,0	34,4	214	32,8
0,5	26,6	30,0	42,4	245	40,3
0,7	32,0	35,6	49,0	276	47,3
0,9	37,1	40,7	54,6	307	53,7

Оценка почв в багалах может понижаться до 50% при изменении индекса окультуренности почв от 1 до 0,2, для чего используются экспериментально установленные понижающие коэффициенты.

По степени окультуренности почвы принято делить на четыре группы: с очень низкой степенью окультуренности ($I_{ок} < 0,4$); низкой (0,41–0,6); среднеокультуренные (0,61–0,8) и высокоокультуренные (0,81–1) почвы.

Низкий уровень естественного плодородия сельхозугод-

ий, пестрота агрохимических свойств почв, неравномерные темпы окультуривания их по регионам делают необходимым целенаправленное управление повышением плодородия почв на основе моделирования. Оценка окультуренности почв по четырем показателям является лишь начальным этапом моделирования почвенного плодородия. По мере включения новых учитываемых свойств (содержание азота, микроэлементов, мощность переломного горизонта и др.) разрабатываются более сложные структурные модели.

Первые схематические модели повышения плодородия почв до уровня продуктивности 40–50 ц/га к.ед. были разработаны сотрудниками ВелНИИПА под руководством академика Т. Н. Кулаковской в начале 70-х годов. Они явились теоретической основой для химизации земледелия в республике. Позже была разработана интегральная модель высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы на продуктивность 65–75 ц/га к.ед.

Ведущая роль в повышении плодородия почв принадлежит удобрениям и мелiorациям. Благодаря органическим и минеральным удобрениям в 1986–1990 гг. в Беларуси формировалось около 56% урожая сельскохозяйственных культур на пашне и 43% на луговых угодьях. За 25 лет (1965–1990) интенсивной химизации земледелия урожай потенциального плодородия пахотных почв повысился в два раза, а продуктивность севооборотов в 2,9 раза, произошло заметное выравнивание почв по уровню плодородия, окультуренность (НПК) повысилась с 3,2 до 7 к.ед. Одновременно со значительным повышением доз минеральных удобрений (в среднем 260 кг д.в. на 1 га пашни) проводилось интенсивное известкование кислых почв и увеличение в два раза доз органических удобрений, благодаря чему повысилось содержание гумуса. Большое значение имела также организация квалифицированного агрохимического обслуживания.

Вместе с тем в химизации земледелия были допущены и серьезные упущения. Темпы строительства складских помещений и навесохранилищ, производство качественных машин по вносению удобрений сильно отставали от темпов роста объемов вносимых удобрений и компостов. На невысоком уровне была система защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, качество удобрений. Из-за этого прибавка урожая оказалась на треть меньше возможной, а экологические последствия

химизации весьма ощутимыми: накопление нитратов в картофеле, овощах и кормовых культурах, загрязнение почв и водных источников нитратами, тяжелыми металлами и остатками пестицидов.

Вместе с тем другая крайность — отказ от химизации земледелия в условиях дефицита продовольствия не только нерационален, но и невозможен. "Биологическое земледелие", полностью исключаящее использование химических препаратов, возможно только в пределах природоохранных зон, контролируемых государством. На основных массивах сельскохозяйственных угодий целесообразно и экономически возможно интензивное земледелие с элементами биологизации и системной экологической организации, которое характерно для многих европейских стран, где получило название "интегрированное земледелие".

С учетом особенности периода перехода к рыночной экономике, дефицита энергетических ресурсов, непростой экологической ситуации в республике, ослепленной радиоактивным загрязнением почв, разработка моделей высокопродуктивных почв в последние годы велась на основе концепции регулируемого (экологически и экономически обоснованного) повышения плодородия почв. Главные положения этой концепции: повышение плодородия почв на основе расширения возврата органического вещества, макро- и микроэлементов на полях, где их содержание ниже оптимального уровня; поддержание уровня плодородия почв с оптимальными свойствами; ограничение применения удобрений на полях с избыточным содержанием элементов питания растений.

Система удобрений устанавливает дозы удобрений с учетом комплекса свойств почв. Биологические особенности возделываемой культуры и предшественников, исходя из получения не максимальной, а рациональной, экологической и экономической обоснованной урожайности, которая обычно находится на уровне 90—95% от максимально возможной. Параметры плодородия регулируются на основе автоматизированной системы управления, включающей банк данных земельных ресурсов по результатам периодических почвенно-геоботанических (через 15 лет) и агрохимических (через 4—5 лет) обследований сельскохозяйственных земельных участков по земельному кадастру и применению средств химизации, контролируемого агрохимическим севооборотом и др.

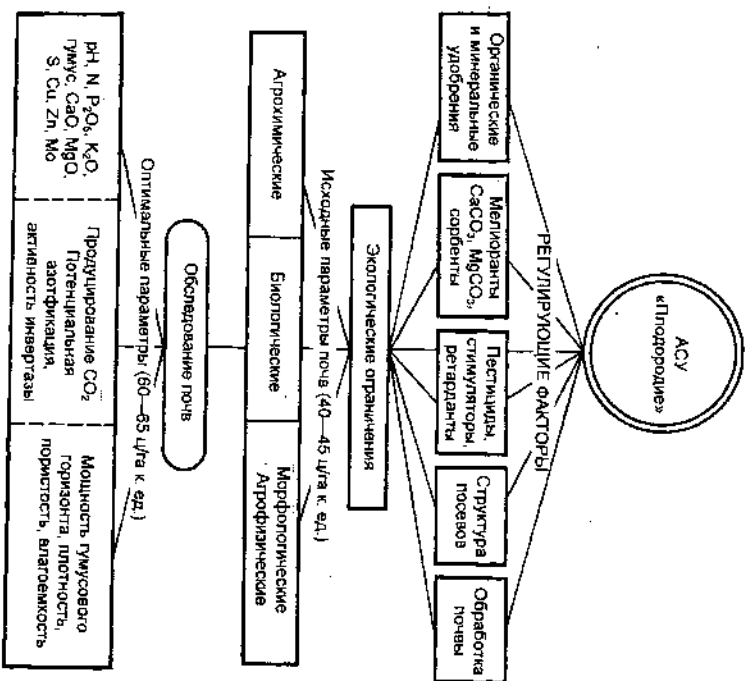


Рис. 3.1. Модель плодородия дерново-подзолистых почв.

Структура моделей, унифицированная по всем параметрам для трех групп дерново-подзолистых почв, представлена на рис. 3.1.

Модели включают оптимальные значения и возможные колебания 36 свойств пахотного и 24 свойств подпахотного горизонта почв, характеризующих морфологические, агрофизические, агрохимические и биологические свойства почв, а также систему мер по поддержанию экологически безопасных доз удобрений и повышению продуктивности севооборотов: на песчаных и супесчаных, подстиляемых песками почвах 50—60 ц/га к.ед.; на супесчаных, подстиляемых мореной — 60—80 ц/га к.ед.; на суглинках — 80—100 ц/га.

Основу модели составляют оптимальные параметры

3.3. Оптимальные параметры содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах

Показатели	Почвы*		Подзоли- стая почва
	пахотный горизонт	горизонт	
Мощность, см	1 2-3	25-35 25-30	10-20 15-20
Содержание гумуса (по Тюрину), %	1	2,5-3,0	0,4-0,6
	2	2,0-2,5	0,3-0,5
	3	1,8-2,2	0,2-0,4
Отношение C:N	1	8-11	-
	2	10-12	-
	3	13-15	-
Тип гумуса, C _{тс} :C _{фк}	1-3	1,0-1,5	-
	1	1300-2000	-
	2	800-1400	-
Содержание лабильных органиче- ских веществ в 1 М Na ₂ P ₂ O ₄ (рН 7), мг/кг	3	600-1000	-
	1-2	30-50	-
	3	20-40	-
Содержание водорастворимого орга- нического вещества, мг/кг	1	20-40	10-20
	2	25-35	10-20
	3	15-25	8-12
Сумма минерального азота (N-NO ₃ +N-NH ₄), мг/кг	1	40-80	20-40
	2	50-70	20-40
	3	30-50	15-25
Потенциально усвояемый азот (0,2 М KOH), мг/кг	1	70-100	-
	2	60-90	-
	3	50-80	-
Потенциальная азотфиксация N ₂ , мг/кг	1	200-250	-
	2	260-330	-
	3	100-130	-
Продуцирование CO ₂ , мг/кг за 96 ч	1	200-250	-
	2	260-330	-
	3	100-130	-

* В этой и таблицах 3.4-3.6: 1 - супрессивность; 2 - супрессивные, подстилкаемые мореной; 3 - песчаные и рыхлосупрессивные, подстилкаемые песками.

свойств почв, обеспечивающие стабильную продуктивность севооборотов на заданном уровне. В табл. 3.3 приведены оптимальные параметры содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах, установленные по материалам выборов из результатов 868 краткосрочных и 67 многолетних стационарных опытов. Достижение указанных в таблице параметров на больших массивах почв реально в ближайшей перспективе.

В настоящее время средняя мощность гумусового горизонта пахотных почв в республике равна 26 см (с колебаниями от 20 до 40 см). Затраты на увеличение гумусово-

го горизонта велики, особенно на легких почвах. Чтобы увеличить его на сантиметр, необходимо дополнительно внести за срок окультуривания по 69 т/га навоза на супесях и 74 т/га на песках, а также 0,4-0,5 т/га CaCO₃+MgCO₃, 18-20 кг/га P₂O₅, 20-25 кг/га K₂O. Возможный прирост продуктивности севооборота от увеличения гумусового горизонта на 1 см в диапазоне 25-30 см - около 2 ц/га к.ед., что предполагает примерно десятикратный срок окулаемого зонта затрат. Поэтому создание мощности гумусового горизонта свыше 30 см (там, где его нет) в ближайшей перспективе нецелесообразно.

Качественные характеристики гумуса определены по методике Почвенного института им. В. В. Докучаева (К. В. Дьяконова и др., 1984, 1990) по данным анализов почв стационарных полевых опытов с деланок с оптимальными вариантами удобрений, обеспечивающими наибольшую продуктивность севооборотов. Отношение C:N колеблется в сравнительно небольших пределах и расширяется по мере перехода от супесчаных к легким почвам. Тип гумуса практически повсеместно фульватинно-гуматный, а отношение КГ/ФК повышается по мере окультуривания почвы. Содержания лабильных форм органических веществ в вытяжке нейтрального пирофосфата натрия и почвенном растворе колеблется в больших пределах, эти показатели значительно ниже в почвах легкого гранулометрического состава.

С содержанием гумуса в почвах тесно связано содержание минеральных форм азота (при одинаковой системе удобрений). Стандартизированные и даны два показателя: минеральный азот (сумма N-NO₃+N-NH₄) и потенциально усвояемый азот, экстрагируемый вытяжкой 0,2 М KOH, с учетом которых дифференцируются дозы азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры.

Биологические свойства почв - продуцирование CO₂ и потенциальная азотфиксация (активность нитрогеназы), определяемые газохромографическими методами, тесно связаны как с содержанием гумуса, так и с другими агрохимическими свойствами почв. Установлена достоверная связь биологических тестов с урожаями основных сельскохозяйственных культур. По-видимому, в условиях усиленно прогрессирующей деградации почв роль биологических характеристик будет возрастать в оценке "здоровья" почв.

Изучение окультуривания почв показало необходимость учета свойств как пахотного, так и подпахотного горизон-

та. Определены ориентировочные параметры содержания гумуса и минеральных форм азота в подпахотных горизонтах окультуренных почв, где расположена значительная часть корневой системы растений. Для изучения качественного состава гумуса и биологических свойств подпахотных горизонтов и разработки нормативов нужны дальнейшие исследования.

Достижение оптимального уровня гумуса в почве и поддержание в ней бездефицитного баланса органического вещества требуют систематического контроля содержания гумуса и тщательной оценки факторов, влияющих на гумусонакопление.

В целом по республике за последнюю четверть века на пахотных почвах поддерживался положительный баланс гумуса за счет большого выхода навоза на торфяной подстилке и расширения доли многолетних трав до 24% от общей площади посева. В результате среднеазотное содержание гумуса в пахотных почвах республики возросло с 1,78% (1975 г.) до 2,27% в настоящее время.

Органические удобрения являются незаменимым и повсеместно доступным источником пополнения запасов гумуса и элементов питания в почве. Однако в связи с уменьшением поголовья скота и сокращением запасов торфа внесение органических удобрений уменьшилось до 8 т/га в год по республике, а в Витебской и Могилевской областях до 5–6 т/га. Высокая стоимость добычи и транспортировки сапропелей исключает их применение в качестве органического удобрения. Все это ставит под угрозу поддержание не только положительного, но и бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах. Серьезную опасность представляет нарастающая тенденция снижения запаса органического вещества в пахотных почвах.

Потери органического вещества в Витебской области на связанных, часто переувлажненных почвах были меньше, так как там получены низкие урожаи, а минерализация гумуса была минимальной. В большинстве хозяйств Помельской, Гродненской и Могилевской областей наблюдается отрицательный баланс гумуса. В 1999 г. уже в 38 районах республики из 118 отмечено снижение содержания гумуса в пахотных почвах. В целом по 38 районам запасы гумуса в почве уменьшились на 5,2 млн. т на площади 1,6 млн. га, что представляет собой большую экономическую потерю, эквивалентную недобору 4,7 млн. т зер-

на. Чтобы закупить такое количество зерна за рубежом необходимо потратить 470 млн. долларов США. Не менее сложно пополнить уменьшившиеся запасы гумуса в почве. Для восстановления потерянного количества гумуса необходимо дополнительно внести в почву 105 млн. т подстильного навоза.

Дефицит гумуса в почве требует более широкого использования зеленых удобрений, расширения посевов многолетних бобовых трав, сокращения доли пропашных культур в структуре посевов. Это диктуется интересами энергосбережения. Затраты советской энергии на производство 1 т к.ед. из многолетних трав на 57% меньше, чем при возделывании кукурузы на силос. В хозяйствах, где выход навоза ниже 10 т/га пашни, необходимо временно использовать энергосберегающую структуру посевов из расчета не менее трех гектаров многолетних трав на каждый гектар пропашных культур. В дальнейшем, по мере повышения плотности поголовья и продуктивности скота, увеличится выход навоза и станет возможным расширение посевов более продуктивных пропашных культур.

Важно использовать современный опыт применения зеленых удобрений, главными из которых являются клевер клеверов одного года пользования или клеверозлаковых травосмесей двухлетнего пользования. При достаточном внесении минеральных удобрений каждый гектар таких посевов обогащает почву органическим веществом. Необходимо более полно использовать также кормовые и пожнивные остатки посевов промезжуюточных культур. В структуре пашни поукосные и пожнинные культуры должны занимать не менее 8–10%. Каждый гектар промезжуюточных культур, получивший полную дозу минеральных удобрений, оставляет в почве заметное количество органических веществ, эквивалентное 4–5 т навоза. Минеральные удобрения, вносимые в оптимальных дозах, существенно увеличивают массу пожнивных и корневых остатков и способствуют повышению содержания гумуса в почве. Анализ данных многолетних полевых опытов показывает, что на пашне Беларусь за счет минеральных удобрений формируется около 20% вновь образующегося гумуса. Более высоким содержанием гумуса отличаются почвы улучшенных сенокосов и пастбищ, где среднеазотистый показатель достиг 2,74%.

Оптимальные уровни реакции почв (табл. 3.4) разра-
ботаны для севооборотов, различающихся количеством
кальциево-обильных культур. Для достаточ-
ного и поддержания приведенных параметров реакции почв
и насыщенности их основными (кальцием и магнием)
разработаны рекомендации по известкованию почв.

Учет свойств почв и биологических особенностей куль-
тур при известковании имеет большое экономическое зна-
чение. По данным полевых опытов, проведенных в рес-
публике, сахарная свекла, клевер, озимая пшеница и яч-
мень обеспечивают наибольшую среднюю продуктивность
(81 ц/га к.ед.) при реакции суглинистых и супесчаных,
подстилавших мореной почв pH 6,6-6,8. Лен, картофель,
люпин, овес, озимая рожь на тех же почвах наибольшую
среднюю продуктивность (69 ц/га к.ед.) обеспечивают при
уровне pH 5,6-6,0, при известковании до pH 6,1-6,5 про-

**3.4. Оптимальные уровни реакции и насыщенности основными
катионами почв**

Показатели	Почва	Пашенный горизонт
pH в КСЛ для севооборотов: со льном, картофелем, люпином, рожью, овсом	1	5,5-6,0
	2	5,5-5,8
	3	5,3-5,5
зерно-травяно-пропашные с куку- рузой и корнеплодами	1	6,1-6,5
	2	5,6-6,0
	3	5,5-5,8
зерно-травяно-свекловичные, прифермские, овоще-кормовые	1	6,5-6,7
	2	5,8-6,2
	3	5,5-5,8
Гидролитическая кислотность, мэкв в 100 г почвы	1	1,0-2,6
	2	1,0-2,0
	3	0,8-1,5
Содержание обменных (в 1 М КСЛ), мг/кг почвы:	1	900-1500
	2	800-1300
	3	600-800
CaO	1	150-300
	2	120-150
	3	80-100
MgO	1	70-90
	2	70-85
	3	60-80
Степень насыщенности основными, %	1	70-85
	2	70-85
	3	60-80

дуктивность этих культур снижается на 8%, а при pH 6,6-
7,0 - на 18%.

Широкомасштабные работы по известкованию кислых
почв в республике ведутся более 30 лет, их объем в отдель-
ные годы превышал 1 млн. га при внесении 5,5-6,0 млн. т
CaCO₃. Имеются заметные результаты. Количество силь-
но- и среднекислых почв с pH менее 5,0 сократилось с 66,8%
(1970 г.) до 6,1% (1999 г.). Известкование как средство
улучшения кислых почв актуально и сегодня. Кроме не-
посредственного повышения урожайности и эффективности
ти удобрений, оно имеет природоохранное значение, спо-
собствуя уменьшению поступления в продукцию радио-
нуклидов и тяжелых металлов. Институтом почвоведения
и агрохимии разработана и с 1988 г. внедряется энергооб-
ратная система поддержания плодородия известкования, позво-
ляющая сократить потребность в известковых удобрениях
до 2,8 млн. т CaCO₃ на площади 546 тыс. га при система-
тической корректировке доз известки после четырехлетне-
го цикла.

На пашне имеется незначительное количество (1,4%)
сильнокислых почв, где недобор урожая составляет 12-
14 ц/га к.ед. Почвы второй группы кислотности (pH 4,6-
5,0), где недобор урожая равняется 4-8 ц/га к.ед., сравни-
тельно равномерно распределены по областям республики
в пределах от 2,0 до 5,3%. Почвы третьей группы кислот-
ности, где недобор урожая около 2 ц/га к.ед., занимают
13,1% пашни. Более половины пашни (63,4%) характери-
зуется оптимальным диапазоном реакции среды pH 5,6-
6,5 для большинства сельскохозяйственных культур.

При реакции почвы pH 6,5 и выше подвижные формы
марганца становятся малодоступными для растений, что
является одной из важных причин снижения урожая. В
опытах НИИ почвоведения и агрохимии некорневые под-
кормки зерновых культур и рапса раствором сульфата
марганца в дозе Mn 50 г/га сопровождалась высоким
прибавками урожая и, в значительной мере, снизили эф-
фект временного избытка известки в почве. По областям
республики имеется от 0,7 до 5,4% явно переизвесткован-
ных почв (pH > 7,0), где наблюдается недобор урожая мно-
гих сельскохозяйственных культур. Эти почвы практически
непригодны для посева льна-долгунца, картофеля и дру-
гих кальциево-обильных культур в течение ряда лет, пока не
произойдет подкисление среды. На переизвесткованных
почвах снижается и качество урожая за счет недостаточ-
ного содержания ряда микроэлементов, особенно марганца,

цинка и кобальта. На улучшенных сенокосах и пастбищах известкование проводится, как правило, в период обильного цветения дернины (перезелужения). Распределение почв по группам кислотности практически такое же, как и на пахотных почвах. В 10 районах отмечено небольшое увеличение площади кислых почв. Главной задачей является повышение качества работ, чтобы нейтрализовать прокисшее подкисление почв в отдельных хозяйствах республики, а также не допустить расширения площади переизвесткованных почв.

В связи с использованием для известкования пылевидной доломитовой муки, где содержание MgO достигает 20%, наблюдается существенное повышение содержания в почве обменных форм магния. Известно, что дерново-подзолистые почвы Беларуси характеризовались крайне низким содержанием магния в поглощающем комплексе. В настоящее время доля почв с низким содержанием обменного магния ($MgO < 90$ мг/кг в вытяжке 1М КСД) на наше состояние менее 10%, а на луговых угодьях — менее 7%. Выделена шестая группа почв с избыточным содержанием обменного магния (> 450 мг MgO на кг почвы), на которых может наблюдаться снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

Оптимальные уровни обеспеченности дерново-подзолистых почв подвижными формами фосфора и калия по группам гранулометрического состава и типам севооборотов приведены в табл. 3.5. Для характеристики фосфатного режима почв кроме *содержания подвижных соединений фосфора* по Кирсанову (фактор емкости) используется показатель, характеризующий его интенсивность, — концентрация P_2O_5 в вытяжке 0,01 М $CaCl_2$, имитирующей почвенные растворы. При одинаковом содержании в сульфидных почвах подвижного фосфора (по Кирсанову) концентрация P_2O_5 в почвенном растворе пахотного горизонта на различных полях может различаться до 1,7 раза, а в подпахотных горизонтах почв — до 2 раз.

Для севооборотов с преобладанием требовательных к питанию культур (корнеплоды, кукуруза, овощи и др.) на почвах любого гранулометрического состава необходимы большие запасы доступных форм фосфора и калия, чем в севооборотах, где преобладают посевы зерновых культур и трав.

Для характеристики калийного режима почв кроме *содержания подвижного (обменного) калия* в почве введен дополнительный показатель — *степень насыщенности*

3.5. Оптимальные уровни обеспеченности дерново-подзолистых почв фосфором и калием

Показатели	Поч.-вык.	Пахотный горизонт	Подпахотный горизонт	
			1	2
Содержание подвижного фосфора (по Кирсанову), мг/кг почвы, для севооборотов:				
с преобладанием зерновых, трав, льна				
1	200-300	150-250		
2	150-250	100-150		
3	100-150	80-100		
с корнеплодами, кукурузой, овощами, прифермеке				
1	250-350	200-300		
2	200-300	120-150		
3	150-200	80-100		
Концентрация P_2O_5 в вытяжке 0,01 М $CaCl_2$, мг/л, для севооборотов:				
с преобладанием зерновых, трав, льна				
1-3	0,20-0,40	0,10-0,15		
с корнеплодами, кукурузой, овощами				
1-3	0,50-0,60	0,15-0,20		
Содержание подвижных форм калия, мг/кг почвы, для севооборотов:				
с преобладанием зерновых, трав, льна				
1	200-300	100-200		
2	170-230	100-150		
3	100-150	80-120		
1	250-350	100-200		
2	200-250	100-150		
3	140-200	80-120		
Подвижные формы калия в % от емкости катионного обмена (ЕКО)				
1	4,0-5,0			
2	3,5-4,0			
3	3,0-3,5			

ти почвенного поглощающего комплекса калием, в % от емкости катионного обмена (ЕКО). Это позволяет контролировать содержание подвижных форм калия в почве на уровне, необходимом для формирования заданных урожаев, и избежать потерь калия от вымывания осадками на легких почвах. Например, на супесчаных и песчаных почвах насыщение гумусового горизонта обменным калием не должно превышать 3,5-4% от ЕКО, ибо калий "течет" вниз по профилю.

За период интенсивной химизации (1966-1990 гг.) содержание подвижных фосфатов в пахотных почвах республики увеличилось втрое и составило 190 мг/кг почвы, на луговых угодьях — в 2 раза и составляет 116 мг/кг. Произошло заметное выравнивание почв по содержанию фосфора. Тем не менее проблема оптимизации фосфатного режима почв весьма актуальна, поскольку 20% пашни слабо обеспечены фосфором (менее 100 мг/кг), около 5%

почва с избыточным содержанием фосфора и только 54% — с оптимальным.

Более того, в последние годы обострилась проблема под- держания фосфатного режима почв. Внесение фосфорных удобрений с 1993 г. уменьшилось в 4–5 раз. По состоянию на декабрь 1999 г. в 70 районах из 118 наблюдался отрицательный баланс фосфора и снижение содержания подвижных фосфатов в пахотных почвах. На улучшенных сенокосах и пастбищах вносят в среднем не более 2 кг P_2O_5 на гектар, а истощение запаса доступных растений фосфатов наблюдается практически повсеместно.

Средневыявленное содержание подвижных форм калия в пахотных почвах так же увеличилось втрое и составило в 1990 г. 182 мг K_2O на 1 кг почвы. Однако внесение калийных удобрений в последние годы было недостаточным. За исключением Минской области повсеместно отмечено снижение содержания подвижных форм калия в почве, которое в среднем по республике составляет сегодня 8 мг K_2O на 1 кг почвы. Только 56% пахотных почв характеризуются оптимальным калийным режимом. Крайне бедны калием 13% почв, которые содержат менее 80 мг K_2O на 1 кг почвы. На 28% средние обеспеченных калийного режима. В почвах луговых угодий содержание подвижного калия повсеместно низкое (в среднем 113 мг K_2O). В последние годы формирование урожая травяных кормов на улучшенных лугах шло преимущественно за счет запаса питательных веществ в почве. Ежегодное отчуждение калия с пастбищными кормом и сеном в среднем на 11 кг/га превышало поступление его с удобрениями.

Планомерное окультуривание и оптимизация свойств почв имеет большое *природоохранное значение и особую экологическую значимость для Беларуси*. Исследованиями БелНИИПА установлено, что улучшение свойств почв (повышение содержания гумуса, насыщение поглощающей способности катионами от среднего до оптимального уровня, повышение содержания обменного калия с 30–80 до 200–300 мг в 2–3 раза снижает накопление долгоживущих радионуклидов в многолетних травах. Подный комплекс окультуривания почв (регулирование водного режима и минерального питания, удобрение) позволяет снизить загрязнение продукции радионуклидами в 6–10 раз.

Установлены *оптимальные уровни содержания серы и микроэлементов в гумусовых горизонтах окультурен-*

3.8. Оптимальные уровни содержания серы и микроэлементов в окультуренных дерново-луговых почвах

Элементы питания	Почвы	Содержание в пахотном горизонте, мг/кг почвы
Серя (1 М КС1)	1-2	12-20
	3	10-15
	1-2	0,5-0,7
Вор (H_2O)	1-2	0,4-0,5
	3	2,0-3,0
Мель (1 М НС1)	1-2	1,5-2,0
	3	3-5
Цинк (1 М НС1)	1-2	2-3
	3	0,1-0,2
Молибден	1-3	0,1-0,2

ных почв (табл. 3.6). Приведенные параметры соответствуют в основном второй группе обеспеченности почв микроэлементами, когда вынос последних должен компенсироваться некорневыми подкормками, а также поступлением с органическими удобрениями. За последние десятилетия произошло заметное повышение в почве запасов подвижных форм бора, меди и цинка. Среднее содержание бора на пашне составляет 0,68, на сенокосах и пастбищах — 0,82 мг/кг почвы, что близко к оптимальному. Среднее содержание меди в пахотных почвах — 2,11, на луговых угодьях — 2,53 мг/кг, а доля почв первой группы (менее 1,5 мг/кг меди) колеблется соответственно в пределах 15–64 и 15–57%. Почвы республики сравнительно хорошо обеспечены цинком, но среднее содержание его колеблется в пределах от 3,0 до 6,9 мг/кг на пашне и 3,4–7,6 мг/кг на лугах. Содержание молибдена в почвах Беларуси практически повсеместно низкое: 0,03–0,10 мг/кг.

Для устранения дисбаланса макро- и микроэлементов в почве и растениях и предотвращения загрязнения почв вследствие неравномерного внесения растворимых солей микроэлементов необходима строго дифференцированная система применения микроудобрений. Поддержанию заданных параметров плодородия способствует целый комплекс агротехнических и организационных мер, включая почвозапашную обработку почв, стругтуртуру посевов, известкование, экологическое ограничение.

Работаны экологические ограничения, предусматривающие максимальное поступление азота с органическими и минеральными удобрениями (в сумме) не более

250 кг/га в год на суглинистых, 200–230 – на песчаных и 160–180 кг/га на песчаных почвах во избежание загрязнения грунтовых и подземных вод нитратами. Экологически опасно вносить фосфорные удобрения при содержании P_2O_5 в суглинистых почвах свыше 400 мг/кг почвы, супесчаных – 300 и песчаных 250 мг/кг. Ограничения введены и для калийных удобрений, известные, микроудобрений, а также на распылку крутых склонов и переуплотнение почвы (табл. 3.7). Прелетно допустимое давление при влажности почвы 80–90% от полевой влагоемкости – не более 90–100 КПа, при влажности 60–70% – не более 110–140 КПа. Все весенние полевые работы на переувлажненных почвах должны выполняться только гусеничными тракторами, а колесные тракторы использоваться преимущественно в сухие периоды года, летом и осенью. Уплотнению почв препятствуют запахивание сидератов, соломки, рыхлаение подпахотного горизонта и др.

3.7. Экологические ограничения на дерново-подзолистых почвах

Органическая	Почвы		
	суглини-ни-стые	супесчаные	песчаные

Максимальное поступление N с органическими и минеральными удобрениями, кг/га

250	200–230	160–180
-----	---------	---------

Ограничение на внесение макро- и микроудобрений при содержании элементов в почве больше указанных значений, мг/кг почвы:

P_2O_5	400	300	250
K_2O	400	300	200
бора		1,0	
меди		5,0	
цинка		10,0	

на известкование при pH в КС1 больше

6,7	6,2	5,8
-----	-----	-----

Противоэрозийные мероприятия

3–5°	Почвозалитные севообороты
6–8°	Залужение
больше 8°	Залужение, засеивание

На давление колес, КПа, при влажности почвы, %:

80–90	– 90–100
60–70	110–140

В настоящее время все экологические ограничения носят рекомендательный характер и оптимальный эффект они дадут только, если будут иметь силу закона, как это сделано в западноевропейских странах.

Повышение содержания подвижных форм фосфора и калия в почве необходимо вести посевенно, избегая разовых мелиоративных доз удобрений, окупаемость которых укладываем примерно в 2–3 раза ниже, чем дифференцированных доз, рассчитанных на заданный уровень урожайности. При достижении нижнего уровня оптимального содержания фосфора и калия в почве дозы внесения этих элементов (в том числе с органическими удобрениями) не должны превышать планируемый вынос их урожаем. При локальном (ленточном) внесении удобрения распределяются равномерно и их окупаемость выше. Небольшие, компенсирующие вынос дозы фосфорных удобрений можно вносить периодически (раз в два года). Калийные удобрения целесообразно на всех почвах вносить ежегодно.

Обязательное условие реализации модели – интегрированная система защиты растений от сорняков, болезней и вредителей, включающая агрохимические приемы, биологические методы и в минимальной степени химические препараты.

В настоящее время основные (контролируемые) параметры модели оптимизации свойств почв имеют примерно 10% суглинистых почв республики, 15 – супесчаных и 20% песчаных почв. Модель апробирована в хозяйствах, где окультуривание почв проведено практически на всей пахотке. Это шесть хозяйств с преобладанием суглинистых почв: колхозы "Прогресс" Гродненского, "Красная звезда" Клецкого, им. Гастелло Минского, "Ленинский путь" Слуцкого, им. Калинина Несвижского и экспериментальная база БелНИИГА "Курасовичина" Минского района, в которых продуктивность севооборотов уже в 1986–1987 гг. была 72–92 ц/га к.ед. и в последние годы не снижалась. Модели высшего плодородия супесчаных и песчаных почв апробированы в четырех хозяйствах (колхоз-комбинат "Память Ильича" Брестского, колхоз "Красная звезда" Столбковского, экспериментальные базы "Шучин" Гродненского и "Эсая" Крупского района) со средней продуктивностью севооборотов в 1987–1989 гг. 50–68 ц/га к.ед. и окупаемостью 1 кг НРК 7–10 к.ед. На основных же массивах дерново-подзолистых почв требуется длительная кропотливая работа.

Зависимость величины и качества урожая основных

культуры от комплекса свойств почв уточняется (по мере районирования новых сортов). Экспериментальная информация накапливается и анализируется в банке данных БелНИИПА и используется всеми участниками почвенно-экологического мониторинга республики. На основе этой информации периодически уточняется нормативная база моделей и регулируются темпы окультуривания почв через систему удобрений.

Автоматизированная система управления плодородием почв была создана в 1981 г. для централизованного распределения фондов минеральных удобрений, составления планов известкования кислых почв и удобрения сельскохозяйственных культур с учетом биологических особенностей и приоритетности культур, уровня планируемых урожаев, с учетом результатов агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Информационной основой системы является база данных — *автоматизированный архив результатов почвенного и агрохимического обследования почв с адресными привязками элементарных участков на землеустроительных планах по полям севооборотов и рабочим участкам.*

В настоящее время в связи с переходом на рыночные отношения, отказом от централизованного планирования, изменением форм собственности и компьютеризацией сельского хозяйства предложена новая методика и схема организации АСУ плодородием почв республики. *Расширена база данных земельных ресурсов с 35 до 85 показателей за счет включения данных о количественном и качественном состоянии почв и технологических свойствах полей (удаленность дороги, конфигурация полей, характеристика склонов и др.) и дополнительных показателей агрохимических свойств почв (содержание марганца, кобальта, радионуклидов, тяжелых металлов, степени подвижности фосфатов, ЕКО и др.).* Задачи АСУ, имеющие республиканское значение (база данных земельных ресурсов, комплекс задач по агрохимическому и радиологическому мониторингу сельскохозяйственных земельному кадастру), решаются централизованно в Белгипрозем НИИ почвоведения и агрохимии. Локальные задачи (определение потребности в удобрениях и планы их применения, проектная документация на известкование почв и др.) решаются по заявкам потребителей на персональных компьютерах в областных проектно-исполкательских станциях по химизации сельского хозяйства.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких частей состоит почва? Их краткая характеристика.
2. Какие элементы питания растений содержатся только в органической, минеральной и органо-минеральной формах?
3. В чем сущность обменного, химического и биологического поглощения питательных элементов удобрений? Какое значение они имеют при использовании удобрений?
4. Какие виды кислотности почв вы знаете?
5. Что такое буферная способность почв? Чем она обусловлена?
6. Какие основные агрохимические показатели почв вы знаете? Каковы их значения для разных типов почв республики?
7. Каковы состояние и пути повышения плодородия почв Беларуси?
8. Что такое оптимизационная модель плодородия почв, какие цели она преследует и как решается?
9. Назовите экологические ограничения применения удобрений.