

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ**

**краткий курс лекций
для аспирантов**

**Направление подготовки
35.01.06 Сельское хозяйство**

Саратов 2014

УДК 631.8(075.8)
ББК 40.4я73
Н26

Рецензент:

Доктор сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой
«Защита растений и плодоовощеводство»
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет»
И.Д. Еськов

Биологические и биохимические основы плодородия почв: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.01.06 Сельское хозяйство / Сост.: Е.А.Нарушева // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. –с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Биологические и биохимические основы плодородия почв» составлен в соответствии с программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 35.01.06 «Сельское хозяйство». В кратком курсе лекций изложены теоретические основы и техника методов исследования биологических свойств почв, используемых агрохимиками в научной и производственной работе. Предложенный материал позволит аспирантам приобрести навыки в определении содержания питательных веществ в почве, в проведении анализа растений и удобрений по качественным реакциям, в определении уровня плодородия зональных почв. Материал ориентирован на вопросы профессиональной компетенции будущих специалистов сельского хозяйства.

УДК
631.8(075.8)
ББК 40.4я73
Н26

© Нарушева Е.А., 2014
© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014.

Введение

Основной способ увеличения продуктивности земледелия – повышение плодородия почв. Важнейшая роль в этом принадлежит биологическому фактору и, в частности, активности и направленности микробиологических процессов в почве.

К одному из наиболее важных факторов, определяющих уровень почвенного плодородия, относится органическое вещество почвы и главным образом гумус. Однако при интенсивном ведении земледелия с использованием высоких доз минеральных удобрений значительно усиливаются процессы минерализации органического вещества. И хотя гумусовые соединения довольно устойчивы к разложению, эти процессы могут привести к заметному снижению в почве общих запасов гумуса. В результате утрачиваются многие ценные свойства почв, что отрицательно сказывается на почвенном плодородии в целом. В связи с этим разработка путей сохранения стабильного уровня содержания органического вещества в почве – актуальная задача сельскохозяйственной науки.

Основная роль в разложении растительных остатков и в образовании более сложных органических веществ, в том числе гумуса, принадлежит микроорганизмам. Поэтому значение гумусовых соединений в формировании эффективного почвенного плодородия необходимо рассматривать лишь в тесной взаимосвязи с жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов, являющихся основой почвенной биодинамики.

Внесение в почву органического вещества способствует активизации жизнедеятельности полезной микрофлоры, при этом повышается биологическая активность почвы.

Повышение плодородия почв во многом зависит от применения азотных удобрений и эффективности их использования. Важнейшим источником поступления азота в почву служит также биологический, фиксируемый микроорганизмами азот атмосферы, составляющий более половины общего количества этого элемента, поступающего в почву. В отличие от азота минеральных удобрений биологический азот практически полностью усваивается растениями и не загрязняет окружающую среду, что обуславливает необходимость разработки приемов, повышающих использование доли биологического азота в урожае культурных растений. Здесь, кроме фиксации азота клубеньковыми бактериями на корнях бобовых культур, большой интерес представляет азотфиксация в ризосфере небобовых растений.

Вовлечение почв в пахотные угодья резко снижает их природный энергетический потенциал вследствие усиления минерализации органического вещества, снижения количества и запасов гумуса. В связи с этим характеристика и оценка гумусного состояния нарушенных почв имеют важное значение для определения их экологической устойчивости и уровня плодородия при сельскохозяйственном использовании. Одним из основных факторов динамики запасов органического вещества и гумуса в пахотных почвах являются полевые культуры, размер поступления растительных остатков которых определяется их продуктивностью, а химический состав – биологическими особенностями растений. В агроценозах с отчуждением с поля надземной растительной массы баланс гумуса и азота в почве складывается дефицитным.

Сидеральные пары, введение в севообороты многолетних и однолетних трав обогащают почву органическим веществом, усиливают микробиологическую активность и процессы гумификации. Нетрадиционные органические удобрения и компосты с использованием птичьего помета, торфа, отходов деревоперерабатывающей промышленности, осадков сточных вод (ОСВ) как альтернатива навозу не уступают ему в обогащении почвы органическим веществом, повышении потенциального и эффективного плодородия почв.

Орошение сельскохозяйственных угодий является эффективным приемом повышения биологической активности почвы, регулирующим гумусное состояние, баланс углерода в системе почва – растение и продуктивность.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЧВООБРАЗОВАНИИ

1.1. Роль микроорганизмов в превращении органического вещества почвы.

Плодородие почв и его рациональное использование в сельскохозяйственном производстве во многом определяются интенсивностью и направленностью биохимической деятельности микроорганизмов. Ведущая роль при этом принадлежит синтезу и минерализации гумуса.

Агрономическая ценность гумуса в значительной степени определяется соотношением содержащихся в нем гуминовых и фульвокислот. Преимущественный синтез гуминовых кислот, обусловленный спецификой микробиологической гумификации свежего органического вещества, сопровождается формированием в почве четко выраженного гумусового горизонта. Способность гумусовых веществ формировать и регулировать физико-химические свойства почв определяет их важную роль в оптимизации почвенных условий произрастания растений и развития микроорганизмов. В высоко гумусных почвах для растений и микроорганизмов создаются более благоприятные водный, воздушный и тепловой режимы. В них исключительно широко представлены разнообразные группы и виды микроорганизмов. Преимущественно развивается сапрофитная микрофлора, что сопровождается значительным повышением фунгистатичности этих почв. В связи с этим хорошо окультуренные, богатые гумусом почвы характеризуются сильно выраженной фитосанитарной способностью, а при возделывании сельскохозяйственных культур в узкоспециализированных севооборотах они менее подвержены «почвоутомлению».

В составе гумуса аккумулируются огромные запасы питательных элементов, которые при постепенной минерализации микроорганизмами переходят в почвенный раствор и используются растениями. Следовательно, микробиологические процессы трансформации гумуса, постоянно протекающие в почве, являются необходимым условием для нормальной жизнедеятельности растений, так как способствуют наиболее продуктивному использованию ими почвенной среды обитания.

Большую роль гумусовые соединения почвы играют в образовании углекислоты и обеспечении ею растений. Большая часть углекислоты образуется в процессе микробиологического разложения органического вещества почв. Непрерывное ее поступление из почвы в приземный слой воздуха оказывает огромное влияние на развитие растений и их фотосинтез. Даже незначительное повышение концентрации CO_2 в приземном слое воздуха увеличивает урожай растений на 30-100%. Таким образом, гумус, составляющий основной фонд органического вещества в почвах, выступает одним из наиболее важных регуляторов угольной кислоты в природе. Исключительно важную роль гумус играет в энергетике почвенных процессов. Аккумулированные в его составе огромные запасы солнечной энергии непрерывно используются в процессах жизнедеятельности растений и микроорганизмов.

Гумус активизирует биохимические и физиологические процессы, повышает обмен веществ и общий энергетический уровень процессов в растительном организме, способствует поступлению в него элементов питания, что сопровождается повышением урожая и улучшением его качества.

Непрерывное поступление в почву органических остатков и их микробиологическая трансформация – необходимые условия гумусообразования. Процессы разложения свежих растительных остатков и формирование гумуса почв носят сложный ферментативный характер и протекают при непосредственном участии микроорганизмов. Выяснение роли микробиологических процессов в формировании гумуса и их значения в почвенном плодородии – одна из актуальных почвенно-микробиологических проблем в современной земледелии.

Разложение органических остатков, поступающих в почву, под воздействием биохимической деятельности микроорганизмов протекает по двум основным направлениям: минерализация до конечных продуктов с высвобождением минеральных элементов, CO_2 и воды; разложение с прохождением стадии гумификации, обеспечивающее синтез биологически устойчивых органических соединений гумусовой природы. Оба эти процесса имеют важное значение для жизнедеятельности растений. Разложение до конечных продуктов способствует сравнительно быстрому переходу закрепленных в органическом субстрате различных элементов в минеральные формы, которые, используя растениями, вовлекаются в новый цикл биологического круговорота веществ. При гумификации свежего органического вещества формируются агрономически ценные физико-химические свойства почв и создается запасной, медленно реализуемый фонд питательных элементов для растений. Этот путь микробиологического превращения органических остатков осуществляется с незначительной скоростью и требует для полного завершения более длительного времени. Соотношением указанных направлений разложения свежего органического вещества микроорганизмами главным образом и определяется интенсивность процессов синтеза гумуса в почвах.

Скорость и специфика развития минерализационных процессов в почвах зависят от многих факторов, важнейшие из которых: химический состав разлагаемого органического материала, особенности почвенных и климатических условий, состав микробных ассоциаций и др.

Поступающий в почву органический материал по своему химическому составу крайне неоднороден. Он состоит из легкогидролизуемых углеводов и белков, трудно разлагаемых веществ: лигнина, липидов, восков, смол, фенольных соединений, содержит различные пигменты, витамины, ферменты, низкомолекулярные органические кислоты, а также зольные элементы. Указанные соединения характеризуются неодинаковой устойчивостью к микробиологическому разложению. Наиболее интенсивно в почвах минерализуются углеводы, белки, водорастворимые органические вещества и значительно медленнее различные фенольные соединения, особенно лигнин. В связи с этим одним из наиболее важных критериев, определяющих скорость разложения органических соединений микроорганизмами, следует считать присутствие в составе минерализуемых веществ циклических и гетероциклических группировок.

Большую роль в процессах трансформации свежего органического вещества играет характер связи между легко- и труднодоступными микроорганизмам биохимическими компонентами, входящими в состав органических остатков. Белки в почвах подвергаются более быстрой микробиологической минерализации по сравнению с лигнино-протеиновыми комплексами.

Устойчивость к минерализации органических субстратов, попадающих в почву, зависит от содержания в этих субстратах зольных элементов. Последние, являясь дополнительным источником минерального питания микроорганизмов, способствуют более быстрой трансформации органических остатков в почве.

Скорость превращения свежего органического вещества в значительной степени регулируется химическим и минералогическим составом почв. В почвах, богатых вторичными минералами (монтмориллонитом, каолинитом, гидрослюдами), интенсивность разложения органических остатков заметно снижается. Это объясняется тем, что вторичные минералы, адсорбируя на своей поверхности многие органические соединения, препятствуют их дальнейшей минерализации.

Устойчивость к микробиологической минерализации многих органических веществ, высвобождающихся из разлагающихся субстратов, возрастает и при их взаимодействии с различными минеральными элементами. Степень устойчивости к микробиологическому расщеплению формирующихся органо-минеральных комплексных соединений определяется прочностью возникающих химических связей.

Все факторы, определяющие интенсивность минерализации органических остатков в

почвах, оказывают существенное влияние и на процессы их гумификации. Гумификация органической массы в почвах связана со значительной убылью исходного материала. В среднем 80-90% органических остатков минерализуется до конечных продуктов, и лишь 10-20% принимает участие в образовании гумуса или накапливается в почвах в форме устойчивых к разложению соединений.

Величина коэффициентов гумификации в значительной степени определяется качественным составом органических остатков, а также структурой микробных ценозов, принимающих участие в их разложении. При оценке роли микроорганизмов в процессах превращения органического вещества и синтеза гумуса в почвах необходимо учитывать особенности их энергетического обмена. Различные физиологические группы микроорганизмов характеризуются неодинаковыми коэффициентами использования органического субстрата. Высокой эффективностью использования субстрата обладают микроскопические грибы. Эти микроорганизмы способны использовать на построение своих клеток до 50-60% разлагаемого ими органического материала. Следовательно, лесные подстилки, в переработке которых доминирующую роль играют грибы, разлагаются с высокой эффективностью. Коэффициенты использования субстрата у актиномицетов и особенно бактерий характеризуются более низкими величинами. Однако уровень энергетического обмена микроорганизмов обуславливается не только их видовым составом, но и качеством используемого ими субстрата. Кроме того, в естественных условиях превращение органических веществ осуществляется комплексом микроорганизмов, а не отдельными видами и при этом коэффициенты использования субстратов значительно возрастают.

В разложении отдельных химических компонентов свежего органического вещества почв могут принимать участие многие представители почвенной микрофлоры. Степень разложения и состав получаемых при этом конечных продуктов распада будет резко различным. Этим объясняется образование в почве чрезвычайно сложной системы высоко- и низкомолекулярных продуктов разложения органических остатков, служащих исходным материалом для синтеза гумусовых соединений.

Минерализация клетчатки в почве осуществляется различными группами бактерий, грибов и актиномицетов, активно продуцирующих ферменты целлюлозы. Скорость разложения клетчатки обычно незначительна, что объясняется не только особенностью строения волокон целлюлозы, но и (в большей степени) ее связями в растительных тканях с лигнином, восками и смолами, которые сильно снижают доступность клетчатки микроорганизмам. В зависимости от видового состава микробных ассоциаций, принимающих участие в разложении клетчатки, в почвах наблюдаются резкие различия в составе конечных продуктов ее распада. Так, под влиянием анаэробных микроорганизмов при разложении целлюлозы формируется серия низкомолекулярных кислот и спиртов.

Более интенсивно гумифицируются в почве *гемицеллюлозы* и *пектиновые вещества*. В расщеплении этих соединений принимают участие бактерии, грибы, актиномицеты и другие микроорганизмы, способные выделять в почву различные ферменты, относящиеся к классу гидролаз.

Исключительно важную роль в процессах синтеза гумусовых веществ играют *белки* и *аминокислоты*. Белки начинают принимать участие в процессе гумусообразования, еще находясь в составе растительных тканей, образуя в них устойчивые комплексы с фенолами.

Важную роль в процессе гумусообразования играет микробиологическая трансформация лигнина растительных остатков. Сложный химический состав и циклическое строение лигнина значительно затрудняют его разложение микроорганизмами. Микробиологическое разложение лигнина осуществляется комплексом окислительных ферментов типа фенолоксидаз, продуцируемых грибами, бактериями и актиномицетами. Наиболее активные минерализаторы лигнина – базидиомицеты, возбудители «белой» гнили древесины. Среди продуктов промежуточного распада молекул лигнина обнаруживается значительное количество фенольных соединений ароматической природы: ванилин,

сиреневый альдегид и др.

Второй путь микробиологического превращения лигнина в почвах – его гумификация. Этот процесс сопровождается значительной его убылью. Через полгода разложения лигнина анаэробными микроорганизмами сохраняется лишь 47-63% его первоначального количества.

Аналогичным образом происходит в почвах микробиологическая трансформация *флавоноидов* и *танинов*, составляющих одну из важных групп природных соединений ароматического строения и широко представленных в растениях и микробных метаболитах. Разлагаясь в почвах различными грибами и бактериями, они принимают активное участие в синтезе гумусовых соединений.

Таким образом, от особенностей биохимического состава разлагаемого материала в значительной степени зависит как интенсивность микробиологического разложения органических остатков в почве, так и степень их участия в процессах гумусообразования. Субстраты, обогащенные биологически неустойчивыми формами органических соединений (напр., простыми углеводами), подвержены быстрому микробиологическому окислению с образованием в качестве конечных продуктов CO_2 и H_2O . Разложение органических остатков с высоким содержанием ароматических структур, и в частности лигнина, протекает замедленно, а продукты их трансформации преимущественно используются на строение гумусовых соединений.

1.2. Разложение растительных остатков и формирование подстилки.

Основная масса ежегодно поступающего в почву органического вещества заключена в отмирающих остатках и прижизненных выделениях высших растений.

Часть первичной растительной продукции отчуждается травоядными животными, но до 60% ее возвращается в почву в виде экскрементов после переработки в кишечнике с участием микроорганизмов. От 20 до 90% фитомассы растений в разных зонах приходится на долю корней, разложение которых происходит в разных горизонтах почвы. Причем отмирание части корней происходит не только периодически, но представляет собой постоянный процесс, сопутствующий росту.

Основная масса растительного опада в природных условиях накапливается на поверхности почвы. Из этого материала в лесных экосистемах формируется подстилка, под травянистыми формациями – ветошь и степной войлок.

Переработка опада осуществляется сложным комплексом организмов, включая и представителей микроорганизмов и почвенной фауны. Характер разложения и его скорость определяются тремя главными факторами: составом растительного материала, гидротермическим режимом и комплексом организмов – деструкторов. В процессе разложения одна часть веществ полностью минерализуется, другая – включается в гумус. При этом синтезируется живая биомасса обитателей подстилки, живущих сапрофитно за счет разлагаемого мертвого органического субстрата; 85% выделяющегося при разложении диоксида углерода приходится на долю микроорганизмов, 10-15% - на долю дыхания животных.

По мере разложения происходит изменение опада и превращение его в аморфную массу. Это прослеживается в вертикальном профиле в виде слоев разной степени минерализации опада. В разных условиях минерализация опада значительно различается. В тропическом лесу, где круглый год положительные температуры и высокая влажность, ежегодный опад полностью разлагается и почва здесь почти голая, без подстилки. В хвойных лесах Севера с коротким периодом положительных температур опад разлагается медленно и накапливается благодаря климатическим условиям и химическому составу хвои. Общая продолжительность разложения растительных остатков может колебаться от 10 до 15 лет.

Опад лиственных пород разлагается быстрее, чем хвойных, поскольку в нем содержится меньше трудноразлагаемых веществ. В разложении опада широколиственных лесов большая роль принадлежит дождевым червям. Среди микроорганизмов доминирующее

значение имеют не грибы, а бактерии.

Наиболее легко подвергаются разложению остатки травянистой растительности. В их преобразовании ведущая роль принадлежит микроорганизмам. Под их влиянием мягкие ткани таких растений как свекла, салат, бобы могут полностью разложиться в течение двух месяцев.

Корни растений распадаются значительно медленнее, чем надземные остатки. Так, у злаковых трав после года разложения потеря массы корней может составлять 25-33% от исходного. В минерализации корневого опада принимают участие грибы, бактерии, простейшие и дождевые черви.

Основные закономерности биохимии гумусообразования изучались в нашей стране такими крупными учеными как М.М. Кононова, Л.Н. Александрова, Д.С. Орлов, а также их учениками.

При равных условиях наиболее быстрой гумификации подвергаются растительные остатки, богатые белками (бобовые травы, зернобобовые) и бедные лигнином (корнеплоды, клубнеплоды, молодые растения). При этом происходит потеря исходной массы материала примерно на две трети.

Химический состав растительного опада оказывает большое влияние на скорость его разложения. Интенсивное разложение опада возможно только при определенном уровне содержания в нем азота.

Быстрой минерализации растительного опада благоприятствует высокое содержание водорастворимых органических соединений, например сахаров. Наличие большого количества лигнина, наоборот, замедляет этот процесс. Ингибирующее действие на скорость распада оказывают так же бактерицидные вещества (танины, терпены, смолы), которые токсичны для многих групп микроорганизмов.

Существенное значение для скорости разложения имеет содержание оснований. Растительные остатки, богатые катионами, разлагаются быстрее, чем содержащие мало оснований.

Процесс переработки растительных остатков зависит не только от их химического состава, но и от физиологических свойств тех или иных микроорганизмов, прежде всего особенностей их ферментативных систем. Способностью разлагать полимерные системы грибы и актиномицеты обладают в большей степени, чем бактерии. Поэтому грибы играют ведущую роль в разрушении опада хвойных лесов, в составе которых присутствует много устойчивых соединений (лигнин, воски).

Помимо микроорганизмов в переработке растительного опада большое участие принимают почвенные животные. Дождевые черви, личинки некоторых жуков, во-первых, измельчают растительный материал. Во-вторых, пропуская часть растительных остатков через свой кишечник, они подвергают его глубокой переработке. При этом, прежде всего, разлагаются крахмал, пектин, клетчатка. Попадая в кишечник почвенных животных вместе с пищей, одни микроорганизмы гибнут, а другие, найдя здесь благоприятные условия, активно размножаются. В результате этого экскременты беспозвоночных содержат обильную и активную микрофлору. Интенсивность микробиологических процессов в выбросах животных оказывается намного выше, чем в окружающей почве.

Таким образом, участие почвообитающих животных в разложении растительных остатков сводится к следующему (по М.С. Гилярову и Б.Р. Стригановой):

- размельчение растительных тканей, которые благодаря этому становятся более доступными для микроорганизмов;
- расщепление некоторых клеточных включений и целлюлозных компонентов клеточных стенок с помощью ферментов;
- соединение образующегося в кишечнике аммиака с лигнином, что имеет большое значение для гумификации разлагающегося материала;
- частичная минерализация и частичная гумификация растительного материала;

- перемещение растительных остатков в более глубокие горизонты и перемешивание их с минеральными частицами;
- стимуляция развития почвенной микрофлоры и распространение микроорганизмов в подстилке и почвенном профиле.

1.3. Образование и разложение гумуса.

Накопление отмерших растительных остатков в виде особого слоя подстилки или войлока на поверхности почвы создает особое хранилище элементов питания, которые по мере разложения постепенно поступают в почву.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие микроорганизмы населяют почву и участвуют в разложении органических веществ?
2. В каких экологических условиях активно развивается почвенная микрофлора?
3. Каковы особенности гетеротрофных и автотрофных бактерий? Приведите примеры.
4. Назовите компоненты органического вещества почвы и долю их участия в формировании плодородия.
5. Назовите источники и оптимальные условия для образования гумусовых веществ.
6. Что такое биогенность почвы и коэффициент минерализации растительных остатков?
7. Назовите факторы, нарушающие баланс органического вещества и гумуса в почвах, и необходимые условия для поддержания положительного баланса гумуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский. – М.: Колос, 1984. – 287 с.
2. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
3. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и техника, 1983. – 181 с.
4. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.
5. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева – М.: Дрофа, 2004. – 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.
6. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М.: Наука, 2005. – 252 с. – ISBN 5-02-033940-7.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.

Роль микроорганизмов в превращении соединений азота в почве**2.1. Круговорот азота**

Практически во всех почвенно-климатических условиях от содержания азота зависит величина урожая сельскохозяйственных культур. Растениям недоступен газообразный азот, в большом количестве находящийся в воздухе, они могут использовать только минеральные формы этого элемента.

Источниками почвенного азота являются атмосферный газообразный азот (N_2) и освобождающийся при разложении органического вещества. Некоторое количество органического азота превращается в минеральный, то есть в ионы аммония (NH_4^+), нитрита (NO_2^-) и нитрата (NO_3^-). Минеральный азот поглощается растениями и микроорганизмами и превращается в органический. Азот растений может составлять большую часть всего азота в системе почва – растение, особенно в лесах. Газообразный азот присутствует также в почвенном воздухе, но его не рассматривают как азот почвы, потому что между почвой и атмосферой идет активный газообмен.

Азот почвы непрерывно превращается из одной формы в другую в результате жизнедеятельности растений и микроорганизмов. Процессы трансформации азотных соединений сводятся к следующим циклам.

- *Минерализация* – превращение органического азота в минеральный в результате микробиологической активности почвы;

- *Нитрификация* — окисление аммонийного азота до нитрита и нитрата специфическими микроорганизмами;

- *Иммобилизация* — превращение минерального азота в органический. Это происходит, когда микроорганизмы не могут удовлетворить свои потребности в азоте за счет органических веществ, которыми они питаются. В результате они поглощают минеральный азот и превращают его в органический;

- *Улетучивание* – потеря аммония из почвы в виде газа. В щелочных условиях ионы аммония превращаются в молекулы аммиака в растворе, которые затем выделяются в почвенный воздух;

- *Денитрификация* – потеря газообразного азота и закиси азота из почвы в анаэробных условиях. Микроорганизмы восстанавливают нитрат и нитрит до этих газов;

- *Азотфиксация* – превращение молекулярного азота (N_2) в почвенной атмосфере в NH_4^+ особыми группами микроорганизмов. NH_4^+ затем ассимилируется в виде органического азота;

- *Нетто-минерализация*. Поскольку минерализация и иммобилизация происходят одновременно, эти процессы трудно разграничить. Обычно определяют изменение количества минерального азота за данный период времени, принимая во внимание потери, обусловленные вымыванием, денитрификацией и улетучиванием, и подсчитывают чистый эффект. В результате можно получить прибавку или убыль минерального азота, в последнем случае это называется *нетто-иммобилизацией*.

- *Вымывание нитратов* – это процесс, при котором нитраты теряются из почвы в дренажные воды. Нитраты не адсорбируются на поверхности почвенных частиц, если только они не несут положительный заряд.

Таким образом, нитраты свободно вымываются из почвы, исключение составляют кислые почвы влажных тропических регионов.

Цикл азота завершается поглощением его растениями из почвы и поступлениями непосредственно из атмосферы (в виде нитрата, аммиака и газообразных оксидов азота, которые превращаются в почве в нитрат), с удобрениями, навозом и выделениями животных.

Минерализация азота (аммонификация белков). Среди органических соединений, со-

ставляющих клетку, первое место по количеству занимают белки — не менее 50% сухой массы клетки. Значительная часть белков попадает в почву с остатками отмерших растений, животных и микроорганизмов. При разложении белков микроорганизмами азот освобождается в виде аммиака. Этот процесс называют аммонификацией, или минерализацией азота.

Белки могут разлагаться аэробными и анаэробными бактериями, грибами. В состав белков обычно входит около 20 аминокислот. По составу белки подразделяются на простые и сложные. Простые белки при гидролизе дают только аминокислоты, а сложные — также и другие органические и неорганические продукты. К сложным белкам относят нуклеопротеиды, липопротеиды, металлопротеиды и гликопротеиды. Молекулы белков и большинства пептидов расщепляются ферментами вне клеток микроорганизмов, так как они не могут проходить через их цитоплазматическую мембрану. Протеолитические ферменты (протеазы), выделяемые клетками микроорганизмов в окружающую среду, осуществляют гидролиз ряда пептидных связей в молекулах белков. Образующиеся при этом частицы белковой молекулы могут использоваться клетками микробов, в которых они разрушаются внутриклеточными протеолитическими ферментами — пептидазами до свободных аминокислот. Образовавшиеся при распаде белка аминокислоты идут на синтез белков клетки или подвергаются дальнейшему расщеплению. Образующиеся из белков аминокислоты минерализуются с различной скоростью. Некоторые из них (треонин, метионин) более устойчивы, другие, наоборот, весьма легко разлагаются (аргинин, триптофан).

После дезаминирования углеродный остаток подвергается воздействию микробов в аэробных или анаэробных условиях с образованием CO_2 и различных органических соединений.

Если в среде имеются амиды, то они первоначально разлагаются до аминокислот, которые затем могут быть трансформированы тем или иным путем. При аэробном распаде белка основные конечные продукты этого процесса: CO_2 , аммиак, сульфаты и вода.

В анаэробных условиях при распаде белка образуются аммиак, амины, CO_2 , а также ряд органических кислот, меркаптаны, индол, скатол и сероводород, обладающие неприятным запахом.

При анаэробном разрушении белков могут образоваться токсические соединения.

Из азотсодержащих соединений в природе встречаются мочевины, мочевая и гиппуровая кислоты, цианамиды и хитин. Мочевина может синтезироваться растениями. Так, в шампиньонах до 13% сухой массы грибов составляет мочевины. В год на земном шаре организмами синтезируется до 30 млн. т мочевины. Это существенные ресурсы азота, так как мочевины содержат 46% этого элемента и используется как удобрение. Мочевина, в частности, под действием микроорганизмов, содержащих фермент уреазу, превращается в аммиак и углекислый газ. Многие бактерии и грибы выделяют уреазу и могут использовать мочевины в качестве источника азота для синтеза белков. Обычно бактерии, разлагающие мочевины, называются уробактериями. Эти бактерии могут развиваться при высокой щелочности среды (pH 9–10), что позволяет им вызывать распад значительных количеств мочевины до аммиака.

Мочевая и гиппуровая кислоты также имеют значение в обмене веществ у животных и растений. В почве эти соединения быстро распадаются под влиянием гидролитических ферментов микроорганизмов. Разложение мочевой и гиппуровой кислот может иметь энергетическое значение. Эти соединения разрушаются рядом микроорганизмов.

Разложение цианамидов кальция проходит в три этапа. Первый протекает самопроизвольно под влиянием почвенной влаги и приводит к превращению цианамидов кальция в цианамид. Ряд почвенных катионов Ca, Mn, Fe и т. д. вызывает превращение цианамидов в мочевины. Гидролиз мочевины происходит под влиянием уробактерий.

Разложение хитина осуществляют многие почвенные микроорганизмы, так как хитин представляет собой вещество, постоянно присутствующее в почве. Хитин — это азотсодер-

жащий полисахарид, он содержится в наружном скелете беспозвоночных животных, в панцирных покровах насекомых, в клеточной стенке многих грибов. Способностью разлагать хитин обладают бактерии, актиномицеты, мукоровые грибы. Особенно активно разлагается хитин актиномицетами. Под действием синтезируемого микроорганизмами фермента хитиназы хитин в конечном итоге расщепляется до уксусной кислоты, глюкозы и аммиака.

Нитрификация. Аммиак, образующийся в почве, навозе и воде при разложении органических веществ, довольно быстро окисляется до азотистой, затем азотной кислоты. Этот процесс получил название нитрификация.

До работ Л. Пастера образование нитратов объяснялось как результат химической реакции окисления аммиака атмосферным кислородом. При этом предполагалось, что почва играет роль химического катализатора. Л. Пастер предположил, что образование нитратов –микробиологический процесс.

Однако выделить культуры возбудителей нитрификации удалось лишь в 1890-1892 гг. С. Н. Виноградскому, который применил особую методику изолирования чистых культур нитрификаторов. Нитрификаторы оказались хемолитоавтотрофами, очень чувствительными к наличию в среде органических соединений. Нитрификаторы – облигатные аэробы. С помощью кислорода они окисляют аммиак до азотистой кислоты (первая фаза нитрификации), а затем азотистую кислоту до азотной (вторая фаза нитрификации):

Этапность процесса нитрификации –характерный пример так называемого метабиоза, то есть такого рода трофических связей микробов, когда один микроорганизм развивается после другого на отходах его жизнедеятельности.

Явление нитрификации для земледелия имеет двоякое значение. Накопление нитратов происходит с неодинаковой интенсивностью на разных почвах. Однако этот процесс находится в прямой зависимости от плодородия почвы. Чем богаче почва, тем большее количество азотной кислоты она может накапливать. Существуют методы определения запасов доступного растениям азота в почве по показаниям нитрификационной способности. Следовательно, по интенсивности нитрификации можно дать характеристику агрохимических свойств почвы.

Вместе с тем при нитрификации происходит лишь перевод одного питательного для растений вещества — аммиака в другую форму - азотную кислоту. Нитраты, однако, обладают некоторыми нежелательными свойствами. В то время как ион аммония поглощается почвой, соли азотной кислоты легко вымываются из нее. Кроме того, нитраты могут восстанавливаться в результате денитрификации до N_2 , что также обедняет азотный запас почвы, существенно снижает коэффициент использования нитратов растениями. В растительном организме соли азотной кислоты при их использовании для синтеза, должны быть восстановлены, на что тратится энергия. Аммоний же используется непосредственно. В связи с этим ставится вопрос о подходах к искусственному снижению интенсивности процесса нитрификации путем использования специфических ингибиторов, подавляющих активность бактерий-нитрификаторов и безвредных для других организмов. Следует отметить, что некоторые гетеротрофные микроорганизмы способны осуществлять нитрификацию.

Иммобилизация азота. При определенных условиях имеющиеся в почве минеральные формы азота вследствие бурного развития микроорганизмов потребляются ими и переводятся в белок цитоплазмы. Подобный процесс, называемый иммобилизацией азота, наблюдается, например, при внесении в почву значительной массы соломы или соломыстых удобрений. В результате иммобилизации азота использование его растениями заметно снижается, что приводит к уменьшению урожая. Таким образом, иммобилизация представляет собой процесс, обратный минерализации.

Установлено, что превращение азотсодержащих соединений по пути минерализации или иммобилизации полностью определяется соотношением азота и углерода в органическом веществе, вносимом в почву. Если субстрат имеет узкое соотношение C: N, то при

его разложении накапливается аммиак, так как микроорганизмам не хватает углеродсодержащих соединений для ассимиляции азота. При внесении в почву массы, богатой углеводами и бедной азотом, происходит потребление минерального азота. Например, в соломе зерновых культур соотношение С: N приближается к 100:1. После внесения ее в почву происходит “биологическое закрепление” минерального азота.

Скорость и размеры ассимилируемого микробами азота связаны также и с типом углеродсодержащего соединения. Так, глюкоза, легко ассимилируемая микроорганизмами, может вызвать значительно более быстрое закрепление азота, чем целлюлоза или тем более лигнин, очень трудно разрушаемый микроорганизмами.

Биологически закрепленный азот не теряется из почвы. После отмирания микроорганизмов белковые вещества минерализуются и превращаются в аммиак.

Иммобилизация неорганического азота имеет важное агрономическое значение. Так, под зерновые культуры, не следует вносить растительные остатки, бедные азотом, потому что это ухудшает азотное питание растений. Соломистые удобрения можно вносить в почву лишь с добавлением небольших (стартовых) доз азотных удобрений, тогда это дает хороший результат. С другой стороны, на почвах с промывным водным режимом и в условиях орошения, в осеннее время года иммобилизация может быть полезной, так как нитраты и аммиак связываются и не теряются в результате выщелачивания зимой. Весной азот, связанный в микробной клетке, хотя бы частично минерализуется и превращается в аммиак и нитраты, которые затем могут быть использованы растениями. Таким образом, сезон года определяет полезность или вредность процесса иммобилизации.

Бобовые растения, фиксирующие в симбиозе с бактериями атмосферный азот, не испытывают депрессии от внесения соломистых удобрений. Наоборот, последние увеличивают их урожай и способствуют лучшему азотонакоплению.

Денитрификация. В почве совершается ряд процессов, в результате которых окисленные формы азота (нитраты, нитриты) восстанавливаются до окислов азота или молекулярного азота. Это приводит к существенным потерям из почвы ценных для растений соединений. Восстановление нитратов и нитритов до газообразных азотных соединений происходит в результате процессов прямой и косвенной денитрификации. Под прямой денитрификацией подразумевают биологическое восстановление нитратов, а под косвенной - химическое восстановление нитратов. Прямая, или биологическая денитрификация, в свою очередь, расчленяется на ассимиляторную и диссимиляторную денитрификацию.

При ассимиляторной денитрификации нитраты восстанавливаются до NH_3 , который служит источником азота для построения клеточных веществ. К указанной денитрификации способны растения и многие микроорганизмы.

В процессах диссимиляторной денитрификации нитраты используются в качестве окислителя органических веществ вместо молекулярного кислорода, что обеспечивает микроорганизмы необходимой энергией.

Микробиологическая денитрификация в почве вызывает потерю минерального азота. Это достаточно широко распространенный в природе процесс, в результате которого в атмосферу ежегодно поступает из почв и водоемов 270-330 млн. т азота. Особенно существенную роль может играть этот процесс в переувлажненных почвах, а также в случаях, когда минеральные азотные удобрения вносят в форме нитратов совместно с навозом или другими органическими удобрениями.

Потери азота из почвы могут происходить и в результате различных химических реакций (косвенная денитрификация).

Молекулярный азот также образуется химическим путем при реакции между азотистой кислотой и аминокислотами или солями аммония, протекающей при рН ниже 5,5.

2.2. Биологическая фиксация азота.

Проблема азотного баланса почв и азотного питания растений — одна из центральных

в почвоведении и агрохимии. От ее правильного решения зависит урожайность полей и сохранение почвенного плодородия при многолетней эксплуатации земель.

В естественных экосистемах растения используют азот из разных источников: из почвенных растворов, из гумуса после его разложения микроорганизмами и от бактерий, связывающих молекулярный азот, который в форме аминокислот поступает в клетки корня. В агроценозах растения дополнительно получают азот из вносимых в почву органических и минеральных удобрений. Азот, который включается в биомассу растений в результате фиксации его бактериями, называют *биологическим*, а сами бактерии, связывающие молекулярный азот, – азотфиксаторами или диазотрофами. Доля биологического азота в урожае по разным оценкам составляет от 60 до 90%.

Азотфиксация — процесс, лимитирующий все остальные звенья цикла азота. Он имеет планетарное значение и по масштабам сопоставим с фотосинтезом. Сопряженность азотфиксации с фотосинтезом позволяет использовать солнечную энергию, чтобы избежать огромных затрат сырья для производства азотных удобрений. Кроме того, микробное связывание молекулярного азота — единственный путь снабжения растений азотом, не ведущий к нарушению экологической среды из-за загрязнения почв, водоемов и атмосферы.

Биологический процесс восстановления азота представляет собой цепь ферментативных реакций, в которых главную роль играет фермент нитрогеназа. Активный центр этого фермента состоит из комплекса двух белков, содержащих железо, серу и молибден в соотношении $\text{Fe:S:Mo}=6:8:1$.

У микроорганизмов-азотфиксаторов встречаются все известные типы метаболизма. Среди них есть аэробы с дыхательным энергетическим обменом, анаэробы, осуществляющие брожение, хемоорганотрофы, автотрофы-фотосинтетики и хемолитоавтотрофы.

Азотфиксирующие микроорганизмы по их связи с растением делят на несимбиотические и симбиотические.

В первой группе различают свободноживущие бактерии, которые не связаны непосредственно с корневыми системами растений, и ассоциативные, обитающие в сфере прямого влияния растения, в прилегающей к корням почве (ризосфере) или на поверхности корней и листьев (в фитоплане). К симбиотическим микроорганизмам относятся те, которые живут в тканях растения, стимулируя образование особых разрастаний на корнях или листьях в форме клубеньков или узелков.

Фиксация азота свободноживущими микроорганизмами. К настоящему времени установлено, что многие свободноживущие бактерии — представители около 30 видов — могут фиксировать молекулярный азот. Большое значение в фиксации азота имеет семейство *Azotobacteriaceae*.

Все виды азотобактера аэробы. В качестве источника азота могут ассимилировать соли аммония, нитриты, нитраты и аминокислоты. При отсутствии связанных форм азота фиксируют молекулярный азот. Небольшие дозы азотсодержащих соединений не депрессируют фиксацию азота, а иногда даже стимулируют ее. Увеличение дозировки азота (в том числе и при внесении удобрений) полностью подавляет усвоение молекулярного азота.

Азотобактер способен использовать огромный набор органических соединений — моно- и дисахариды, некоторые полисахариды (декстрин, крахмал), многие спирты, органические кислоты, в том числе ароматические. Азотобактер проявляет потребность в органических веществах. Поэтому он в больших количествах встречается в почвах, хорошо заправленных органическими удобрениями. Для роста азотобактер нуждается в элементах минерального питания, особенно в фосфоре и кальции. Потребность азотобактера в этих элементах столь значительна, что его используют в качестве биологического индикатора на наличие фосфора и кальция в почве.

Для энергичной фиксации молекулярного азота азотобактеру и другим фиксаторам азота нужны микроэлементы. Важное значение имеет молибден, который входит в состав ферментов, катализирующих процесс усвоения азота.

Отмеченные физиологические особенности азотобактера определяют экологию данно-

го организма. Он обитает в высокоплодородных, достаточно влажных почвах с нейтральной или близкой к ней реакцией среды. При дефиците увлажнения большинство клеток этого микроорганизма отмирают. Во многих черноземах, каштановых и сероземных почвах, благоприятных для азотобактера, его обнаруживают в значительных количествах лишь весной. В зоне подзолистых и дерново-подзолистых почв азотобактер можно найти в огородных и пойменных почвах, богатых органическими соединениями, с благоприятным значением pH.

К активным азотфиксаторам относятся аэробные цианобактерии (сине-зеленые водоросли). Цианобактерии распространены во всех почвенно-климатических зонах. Однако они предпочитают нейтральную среду, и поэтому их численность и видовой состав существенно возрастают в нейтральных почвах южной зоны. Отдельные их виды приурочены к определенным местам обитания. Многие цианобактерии обитают в симбиозе с другими растительными организмами, например, — с грибами, образуя при этом лишайники. В природной обстановке цианобактерии всегда сожительствуют с другими микроорганизмами — бактериями и грибами. В местах разрастания водорослей особенно много олиготрофных бактерий. Массовое развитие цианобактерий отмечается в сильно увлажненных почвах, где они нередко дают эффект “цветение” почв. Аналогичное явление имеет место в водоемах при обильном размножении водорослей. В неорошаемых окультуренных почвах наиболее благоприятные условия для роста цианобактерий бывают весной и осенью, то есть в периоды увлажнения почвы, а в поливных, кроме того, и после орошения пашни. Вклад свободноживущих азотфиксаторов в азотный фонд почвы весьма существен.

Симбиотическая фиксация азота у бобовых растений. В корневую систему бобовых растений проникают специфические бактерии, образующие на ней клубеньки. Эти микроорганизмы получили название «клубеньковых бактерий». Между бактериями и растениями устанавливаются симбиотические отношения - бактерии питаются органическими соединениями, синтезированным растением, а растение получает из клубеньков связанные соединения азота. В качестве источника азота клубеньковые бактерии могут использовать различные соединения — соли аммония и азотной кислоты, многие аминокислоты, пуриновые и пиримидиновые основания, биурет и т.д.

Клубеньковые бактерии могут ассимилировать разнообразные углеводы, в том числе и некоторые полисахариды (декстрин, гликоген). При усвоении углеводов некоторые культуры образуют кислоты. Им доступны также многие органические кислоты и многоатомные спирты. Необходимый фосфор клубеньковые бактерии усваивают из минеральных и органических соединений. Калий, кальций и другие элементы они получают из неорганических веществ. Клубеньковым бактериям нужны также железо, некоторые микроэлементы (молибден и др.). Клубеньковые бактерии лучше развиваются, если в среде имеются витамины группы В. Ряд витаминов и ростовые вещества эти бактерии синтезируют сами.

Существенное свойство клубеньковых бактерий — их активность, то есть способность в симбиозе с бобовыми растениями ассимилировать молекулярный азот. В почве могут быть штаммы клубеньковых бактерий эффективные, неэффективные и переходные между ними. Заражение бобовых растений эффективными штаммами клубеньковых бактерий способствует активной фиксации азота. Неэффективный штамм дает образование клубеньков, но фиксации азота в них не происходит. Эффективность клубеньковых бактерий изменяется в зависимости от внешних условий.

Количество клубеньков на корнях бобовых растений всегда бывает более или менее ограниченным. Клубеньки содержат больше азота, чем остальные части растения. Это служит доказательством тому, что именно в клубеньках протекает процесс усвоения азота. Отсюда связанный азот перемещается в надземную часть растения.

Взаимоотношения между бобовыми растениями и клубеньковыми бактериями, обеспечивающие хорошую и энергичную фиксацию азота, создаются при действии комплекса факторов (оптимальные влажность, аэрация, температура, pH, присутствие в доступной

форме фосфора, калия, микроэлементов и т.д.). Обычно почвы содержат в достаточно большом количестве клубеньковые бактерии тех видов бобовых растений, которые имеются в составе дикой флоры данной местности или длительное время там культивируются. Если указанные растения не произрастают и не имеется родственных по инокуляционной способности видов, то свойственные им клубеньковые бактерии в данных почвах отсутствуют.

На количество клубеньковых бактерий в почве влияют ее свойства и состояние. Например, в нейтральных почвах (черноземах и др.) бактерии размножаются лучше, чем в кислых, и здесь чаще встречаются их активные формы. Окультуривание почв, особенно связанное с внесением органических удобрений, улучшает условия для размножения клубеньковых бактерий.

Значительная часть полевых опытов по изучению роли бобовых культур в накоплении общего и биологического азота проведена без применения дополнительной инокуляции этих культур нитрагином. Использование нитрагина – препарата, содержащего специально отселекционированные высокоактивные штаммы клубеньковых бактерий, широко распространено в высокоразвитых странах. Этот препарат производят на стерильном торфе, в 1 г которого содержится в среднем 3-4 млрд. бактерий. Такой торфяной препарат называется ризоторфином. Высокий положительный эффект обычно оказывает применение нитрагина на почвах, где ранее бобовые культуры не возделывались. Наряду с влиянием на урожай нитрагинизация значительно повышает содержание белка в растениях, а проблема белка в настоящее время является первоочередной.

2.3. Влияние бобовых растений на плодородие почвы

Биологически связанный бобовыми культурами азот не весь отчуждается с урожаем, заметная часть его остается с корневыми и пожнивными остатками в почве. Доля биомассы бобовых растений, попадающая в почву, неодинакова для разных культур. Кроме того, она изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий, уровня агротехники и величины урожая.

Содержание азота в корнях бобовых культур достигает 1,56-2,16, а в стерне 1,0-1,85%. Повышенное содержание азота в растительных остатках бобовых культур создает условия для их быстрой минерализации. В период вегетации бобовых растений происходит минерализация листового и корневого опада и освобождение минеральных форм азота в почве. После уборки и запахивания остатков эти процессы проходят очень интенсивно. После бобовых культур в почве наблюдается активация процессов во всей цепи трансформации азота – от разложения белковых веществ до нитрификации. Вследствие этого уже в первый год после возделывания бобовых растений зарегистрировано достоверное повышение содержания в почве различных форм азотсодержащих соединений – общего, легкогидролизуемого, аммонийного и нитратного азота. Имеется информация об изменении нитрификационной способности почвы и количества нитратов, накапливающихся в почве после возделывания бобовых культур. Последствие биологического азота наблюдается в течение трех лет. После запахивания растительных остатков бобовых культур в почве активизируются гидролитические процессы: ускоряется минерализация веществ углеводного характера, повышается активность инвертазы и органических соединений фосфора – фосфатазы. Одновременно возрастает активность каталазы, дегидрогеназы и полифенолоксидазы – фермента, связанного с процессами синтеза гумуса. Активность фермента пероксидазы – фермента, участвующего в минерализации гумуса, наоборот, снижается, что подтверждает известные данные об увеличении содержания гумуса после возделывания бобовых.

Положительное влияние бобовых культур на плодородие почвы не ограничивается улучшением ее азотного режима, а проявляется более разносторонне. Корни бобовых трав обогащают почву фосфором и кальцием. Повышается водопрочность агрономически цен-

ных агрегатов, улучшается водопроницаемость и пористость почвы, а плотность сложения уменьшается.

Окончательной оценкой степени влияния бобовой культуры на плодородие почвы служит урожай последующей культуры.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое аммонификация?
2. Что такое нитрификация?
3. Охарактеризуйте первую фазу нитрификации.
4. Охарактеризуйте вторую фазу нитрификации.
5. Роль азотфиксации в общем балансе азота в почве.
6. Что такое денитрификация или нитратное дыхание?
7. Симбиотические азотфиксаторы и их роль в накоплении азота.
8. Свободноживущие азотфиксирующие бактерии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский. – М.: Колос, 1984. – 287 с.
2. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
3. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и техника, 1983. – 181 с.
4. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.
5. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева – М.: Дрофа, 2004. – 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.

РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРЕВРАЩЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА, КАЛИЯ, ЖЕЛЕЗА, АЛЮМИНИЯ, СЕРЫ В ПОЧВАХ.

3.1. Превращения почвенными микроорганизмами соединений фосфора

Фосфор играет важную роль в питании растений. Превращение его в соединения, доступные для растений, происходит при участии корневой системы растений и микроорганизмов.

Почвенные фосфаты обычно делят на две категории: легкорастворимые (и, соответственно, доступные растениям) и нерастворимые (недоступные растениям). Нерастворимые фосфаты в зависимости от типа почвы могут составлять до 95-97% от общего содержания фосфора. Они присутствуют в виде неорганических и органических соединений.

Нерастворимые неорганические соединения фосфора во всех почвах большей частью связаны с тремя элементами, из которых железо и алюминий являются главными фиксаторами в кислых почвах, а кальций – в нейтральных и слабощелочных.

Количество нерастворимых органических фосфатов особенно велико в кислых почвах. В нейтральных и щелочных (черноземы, каштановые почвы) их значительно меньше. Органический фосфор присутствует в основном в составе фитина, нуклеиновых кислот, нуклеотидов и фосфолипидов.

Между нерастворимыми почвенными фосфатами (неорганическими и органическими) и легкорастворимой их частью в почве существует определенное равновесие. Равновесное состояние между доступными и недоступными для растений формами фосфора во многом регулируется почвенной микрофлорой. Ее деятельность осуществляется по следующим направлениям.

Участие микроорганизмов ризосферы корней в поглощении фосфора растениями. Корни растений имеют контакт с относительно небольшим объемом почвы. Вследствие постоянного поглощения растворимых фосфатов их запасы у поверхности корней истощаются. Ввиду низкой подвижности этого элемента пополнение запасов фосфатов в почвенном растворе вблизи корней идет гораздо медленнее, чем растения их поглощают. Это создает зону обеднения фосфором вокруг корней, ширина которой составляет 1-2 мм.. Обитающие в этой зоне микробы принимают участие в поступлении фосфора в корни растений.

Однако наибольшее значение в поглощении фосфора корнями растений имеют микоризные грибы. Они находятся внутри корней растений, откуда грибные гифы прорастают в почву. Тем самым они увеличивают контакт корней с большим объемом почвы. Во-вторых, микоризные грибы выделяют ауксины (ростовые вещества), которые усиливают рост корней, их ветвление и увеличивают диаметр поглощающей части корней. Как выявили канадские исследователи, растения с микоризными грибами не только поглощают больше фосфора (в том числе и из бедных почв), но и могут использовать формы почвенного фосфора, недоступные для растений.

Растворение минеральных фосфатов. Большинство видов микроорганизмов способны растворять нерастворимые минеральные фосфаты почвы. Особенно активны в этом плане виды *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Streptomyces* и *Aspergillus*.

Растворение фосфатов происходит в пределах ризосферы (т.е. 1-2 мм от поверхности корня). Это обусловлено тем, что интенсивность микробной деятельности зависит от выделения корней и отслоившихся от них клеток, которые служат субстратом для микробов.

Основной способ, которым микроорганизмы растворяют фосфаты – это выделение органических кислот, таких как молочная, щавелевая, лимонная.

Бактерии, способные окислять серу или аммоний, образуют соответственно серную и

азотную кислоты, которые растворяют фосфаты.

Микроорганизмы выделяют в процессе дыхания углекислый газ, который участвует в синтезе углекислоты, способной растворить большое количество фосфатов.

Исследованиями последних лет также установлено, что гуминовая кислота и фульвокислота могут образовывать комплексы с железом и алюминием, высвобождая при этом фосфор из сложных труднорастворимых фосфатов железа и алюминия.

Минерализация органического фосфора. Микроорганизмы родов *Proteus*, *Streptomyces*, *Aspergillus* и др. могут минерализовать сложные органические фосфаты почвы.

Органические фосфаты могут растворяться бактериальными органическими кислотами, а также путем ферментативного гидролиза фосфолипидов и нуклеиновых кислот.

Следует отметить, что, по мнению большинства ученых, занимавшихся этой проблемой, минерализация микроорганизмами органического фосфора почвы широко распространена и встречается повсеместно. Однако она редко выходит за пределы собственной потребности микроорганизмов и лишь незначительно улучшает фосфорное питание растений.

Иммобилизация фосфора. Почвенные микроорганизмы конкурируют с корнями растений за подвижный фосфор. В обрабатываемой почве (по расчетам) бактерии поглощают и таким образом иммобилизуют 4-10 кг/га фосфора. Если к этому прибавить его поглощение грибами, то можно предположить, что микроорганизмы удерживают столько же фосфора, сколько нужно полевым культурам. Фосфор, связанный в микробных клетках, освобождается после их отмирания.

Бактерии накапливают больше фосфора (1,5-2,5% от их сухой массы), чем грибы (0,5-1,0%) или зеленые растения (0,05-0,5%).

3.2. Превращения калия

Калий входит в число важнейших элементов, необходимых для растений. Он участвует в обменных процессах при синтезе аминокислот и белков, в реакциях фотосинтеза. В значительной степени калий регулирует использование растениями азота. Между тем он относится к элементам, содержание которых в доступной форме в почве ниже потребности в них сельскохозяйственных растений, и поэтому необходимо внесение калия в составе комплексных удобрений.

Усваиваемый калий составляет всего 1-2% от его валового содержания в почве. Основной запас калия находится в минералах. К первичным минералам, содержащим калий, относятся слюды и полевые шпаты (ортоклаз и микроклин). Калий входит и во вторичные минералы – каолинит, монтмориллонит, вермикулит. Освобождение калия из минералов происходит при воздействии на них организмов. Этот процесс наиболее значителен в горах, на изверженных вулканических породах. Разложение минералов при взаимодействии с почвенными микроорганизмами и их метаболитами постоянно происходит и в сформированных почвах. В основе этих взаимодействий лежат разные механизмы: растворение сильными минеральными кислотами, образующимися при нитрификации, при окислении серы тионовыми бактериями; воздействие органических кислот – продуктов брожения и неполного окисления углеводов грибами; иммобилизация в микробной биомассе.

3.3. Превращения железа

По содержанию в литосфере железо среди металлов занимает второе место после алюминия и энергично мигрирует в земной коре. Железо образует около 300 минералов. В биосфере оно накапливается в осадочных породах, входит в состав живых клеток всех организмов, в том числе в молекулы ферментов, участвует в кислородном обмене. Дефицит его в почве вызывает функциональные расстройства метаболизма.

Железо относится к элементам с переменной валентностью, и это обуславливает его разную подвижность в восстановительных и окислительных условиях. При наличии органических веществ и анаэробных условий Fe^{+3} восстанавливается до Fe^{+2} и легко мигрирует. При соприкосновении с кислородом воздуха Fe^{+2} окисляется, образуя скопление гидроокисей охристого цвета, что придает соответствующий оттенок почвам и породам (красные и бурые суглинки и глины, желтые пески, латеритные почвы). В щелочных почвах образуются недоступные для растений соединения железа, в кислых – доступные, иногда в избытке. И то, и другое для растений плохо.

Участие микроорганизмов в превращении железа в почвах может быть прямым (окисление) и косвенным (за счет создания определенного ОВП и pH среды).

Железобактерии – это сборная группа микроорганизмов разного положения, которые объединяются на основании способности окислять восстановленные соединения железа с отложением окисного железа на поверхности клеток. К ним относятся нитчатые бактерии, флексибактерии, одноклеточные бактерии разных родов, микоплазмы и цианобактерии.

Окисление Fe^{+2} происходит в результате действия перекиси водорода, которая образуется в процессе окисления органических веществ и накапливается в виде гидроокиси. Одноклеточные бактерии, накапливающие окисленное железо в гетеротрофных условиях, широко распространены в почвах гумидных зон.

В *восстановлении железа* также участвуют почвенные микроорганизмы. Процесс протекает при сопряженном окислении органических веществ или молекулярного водорода в анаэробных условиях и проводится множеством бактерий. Восстановленное железо образует нерастворимый минерал вивианит.

Итак, в процессах окисления и восстановления железа участвуют многие группы микроорганизмов. У одних функция окисления железа связана с получением энергии и процесс протекает только в условиях кислой среды; у других превращение железа – побочный процесс, имеющий важный физиологический смысл – удаление токсичной перекиси; у третьих – эта функция сопряжена с разложением железогумусовых комплексов и отложением железа на клетках или извлечением железа из минералов и образованием хелатных форм соединений. В зависимости от условий среды железо либо отлагается в виде охры, либо мигрирует в составе комплексных соединений и аккумулируется в определенных горизонтах почвы.

3.4. Превращения алюминия

Алюминий – один из наиболее распространенных элементов. По содержанию в земной коре он занимает третье место после кислорода и кремния, а из металлов – первое. В почве алюминий находится в составе первичных и вторичных минералов, гидроокиси и солей, в форме различных алюмоорганических соединений. В зависимости от физико-химических условий среды формы соединений алюминия по-разному мигрирует и аккумулируется в почвах.

Соединения алюминия малоподвижны в слабощелочной и нейтральной средах и приобретают подвижность в кислых. Участие микроорганизмов прямое или косвенное в цикле превращения алюминия в почве следующее: 1. мобилизация алюминия из первичных и вторичных минералов; 2. разложение (минерализация) алюмоорганических соединений; 3. аккумуляция гидроокиси алюминия.

Минералы почвообразующей породы – это первоисточник всех содержащихся в почве форм алюминия. Освобождение алюминия из первичных и вторичных минералов может происходить в результате выноса остальных, более подвижных в соответствующих условиях химических элементов.

При выветривании алюмосиликатов полуторные окислы алюминия (глинозем) и железа в зависимости от физико-химического режима почв или выносятся из определенных почвенных горизонтов, или, наоборот, закрепляются в них. В первом случае это приводит

к подзолообразованию, которое сопровождается накоплением остаточного кремнезема, а во втором – к латеритообразованию.

Один из важных механизмов мобилизации алюминия из кристаллических решеток алюмосиликатов – хелатизация. В этом процессе участвуют, с одной стороны, продукты микробного синтеза и микробного разложения растительных остатков, с другой – специфические органические вещества почвы – гумусовые кислоты. Образующиеся алюмоорганические соединения широко распространены в почвах. Напр., комплексы алюминия с фульвокислотами в значительных количествах закрепляются и накапливаются в иллювиальных горизонтах подзолистых почв.

Алюмоорганические соединения не только образуются в самой почве, но и поступают в нее с растительными остатками в виде комплексов алюминия с органическими кислотами, аминокислотами и белками. Далее в зависимости от экологических условий алюмоорганические соединения в почве претерпевают различные превращения: выносятся за пределы почвенного профиля, минерализуются, закрепляются в составе гумусовых веществ. Первые два процесса характерны для почв влажных субтропиков, третий – для почв подзолистой зоны.

Процессы минерализации алюмоорганических комплексных соединений связаны с жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов. В разложении участвуют грибы в комплексе с организмами группы микоплазм.

3.5. Превращения соединений серы

Сера — необходимый питательный элемент для живых организмов. В почве она встречается в форме сульфатов, главным образом $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , K_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, сульфидов (FeS_2 , Na_2S , ZnS и др.) и органических соединений. Сера содержится в аминокислотах и белках растений, животных и микроорганизмов. Валовые запасы серы в почвах сравнительно невелики, и растения часто ощущают недостаток в ней.

Органические и неорганические формы серы под влиянием микроорганизмов подвергаются в почве различным превращениям. Характер трансформаций соединений серы регулируется в основном факторами внешней среды. Органические соединения серы могут быть разрушены и минерализованы. В определенных условиях восстановленные неорганические соединения серы подвергаются окислению микроорганизмами, а окисленные соединения серы (сульфаты, сульфиты и др.) могут быть восстановлены в сероводород.

Окисление неорганических соединений серы. Активными окислителями соединений серы являются следующие группы микроорганизмов: тионовые бактерии, одноклеточные и многоклеточные (нитчатые) формы, относящиеся к родам *Achromatium*, *Thiobacterium*, *Thiospira*, и др.; фотосинтезирующие пурпурные и зеленые серобактерии, а также некоторые цианобактерии; хемоорганогетеротрофные организмы из родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, актиномицеты и грибы (*Penicillium*, *Aspergillus*).

Тионовые бактерии обитают в почве. Нитчатые формы встречаются главным образом в грязевых водоемах. Возможно их развитие в затопленных почвах, содержащих восстановленные формы серных соединений. Фотосинтезирующие бактерии свойственны водной среде (пруды, морские лагуны, озера и т. д.).

Наиболее широко распространены тионовые бактерии рода *Thiobacillus*. Эти бактерии способны окислять тиосульфат, сероводород, сульфиды, тетратионаты и тиоцианаты.

По современным представлениям, сера из почвенного раствора поступает в клеточную вакуоль тиобактерии путем диффузии и накапливается в ней в виде запасного материала. Эта сера может окисляться по мере надобности. Скорость ее окисления зависит от площади соприкосновения серы с бактериальными клетками. В данном процессе участвуют ферменты, способствующие поступлению серы внутрь клетки. Под их воздействием сера восстанавливается до сульфидного иона, окисление которого происходит в дальнейшем внутриклеточно.

Окисляют соединения серы также фотолитоавтотрофные пурпурные и зеленые серобактерии. Они обычно обитают в среде, где имеется сероводород, а в почвах большой роли не играют.

Серу могут окислять многие хемоорганогетеротрофные микроорганизмы. Например, некоторые виды бактерий родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, актиномицетов и грибов окисляют порошковидную серу. Хемоорганогетеротрофные микробы окисляют серу в присутствии органических веществ. Окисление серы — экзотермический процесс, но хемоорганогетеротрофные микроорганизмы не используют эту энергию. Окисление серы хемоорганогетеротрофными микроорганизмами идет довольно медленно и слабо.

Бактерии, окисляющие неорганические соединения серы, применяются при разработке месторождений полезных ископаемых. Так, в Институте микробиологии РАН С. И. Кузнецовым проведены исследования, которые позволили начать применение окисляющих серу бактерий из рода *Thiobacillus* для выщелачивания бедных сульфидных руд. Наиболее разработаны методы микробиологического выщелачивания меди из минералов, в которых медь соединена с серой. Обработке подвергают отвалы бедных руд на поверхности или руды под землей.

Восстановление неорганических соединений серы. В плохо аэрированных, затопляемых почвах, с дефицитом кислорода, а также в водах (лиманах, некоторых морях и других водоемах) в зоне анаэробнозиса происходит микробиологическое восстановление сульфатов. Иногда этот процесс называется десульфификацией.

Бактерии, вызывающие восстановление сульфатов, разделяют на два рода: неспорообразующие — *Desulfovibrio* и спорообразующие — *Desulfotomaculum*. Это облигатные анаэробы, мезофилы (оптимальная температура для них 30°C). Обнаружены в морской воде и иле, пресной воде и почве.

Сульфатвосстанавливающие бактерии — весьма специализированная группа микроорганизмов, которая использует сульфат в качестве акцептора электронов (водорода) в анаэробных условиях для окисления органических соединений или водорода. Сульфатвосстанавливающие бактерии не способны к автотрофному связыванию CO₂ и для своего роста нуждаются в готовых органических веществах, то есть они относятся к хемоорганогетеротрофам. Донором электронов служат углеводы, органические кислоты, спирты, а также молекулярный водород. Водород окисляемых органических субстратов переносится на окисленные соединения серы (сульфаты, сульфиты, тиосульфаты), которые восстанавливаются до сероводорода.

Анаэробное окисление органических веществ сульфат-восстанавливающими бактериями является неполным и ведет к аккумуляции уксусной кислоты в качестве конечного продукта.

Сульфатвосстанавливающие бактерии могут наносить ущерб, разрушая материалы, неустойчивые к сероводороду. Так, установлено разрушение этими организмами нефтяных продуктов, загрязнение сероводородом промышленного газа и т. д. Деятельность сульфатвосстанавливающих бактерий — одна из причин коррозии металлического оборудования в анаэробной зоне.

Сероводород имеет токсические свойства. В случае накопления его в почве растительность быстро погибает. Если сероводород образуется в водоеме, то растения и животные в нем также гибнут. В некоторых озерах, лиманах и даже в открытом море на определенной глубине (в Черном море на глубине 200 м) сероводород накапливается в таком количестве, что развитие живых существ там подавляется.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие группы микроорганизмов существуют за счет энергии, выделяющейся при окислении неорганических соединений серы?
2. Кратко охарактеризуйте основные направления трансформации соединений серы в почве.

3. В каких формах фосфор может находиться в почве?
4. Какие виды бактерий участвуют в трансформации соединений железа в почве?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доро-синский. – М.: Колос, 1984. – 287 с.
2. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
3. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и тех-ника, 1983. – 181 с.
4. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: Ко-лосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.
5. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева – М.: Дрофа, 2004. – 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Вла-димирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.

РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА В ПОВЫШЕНИИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ.

4.1. Накопление биологически связанного азота бобовыми растениями.

Один из главнейших источников пополнения азотного фонда пахотных почв - биологическая фиксация молекулярного азота атмосферы, который находится в недоступной для высших растений форме. В биосфере нашей планеты биологическая фиксация молекулярного азота осуществляется только микроорганизмами.

Наибольшее практическое значение в обогащении почв азотом за счет усвоения его из атмосферы имеют следующие группы почвенных микроорганизмов:

- клубеньковые бактерии, фиксирующие молекулярный азот в симбиозе с бобовыми растениями;
- широко распространенные в почвах свободноживущие азотфиксирующие бактерии;
- выявленные в последние годы новые формы микроорганизмов, способные усваивать молекулярный азот в ассоциациях с корневой системой небобовых растений.

Существование и жизнедеятельность этих организмов тесно связаны с почвой, а азот, который они усваивают из атмосферы, вовлекая его в биологический круговорот, поступает или непосредственно в корни растений для их азотного питания, или обогащает почву.

Во всех странах ведутся поиск и разработка новых приемов активации процесса биологической фиксации молекулярного азота, так как этот процесс имеет значительные преимущества перед использованием минеральных удобрений (не требуется материальных затрат, не происходит загрязнения окружающей среды, улучшается качество бобовых культур).

В научной литературе имеется обширная информация о размерах симбиотической фиксации азота для всех бобовых культур. Наиболее высокий уровень накопления азота отмечен у многолетних бобовых трав – люцерны и клевера (до 3-6 ц азота за год). Однолетние бобовые культуры в связи с коротким вегетационным периодом и непродолжительным сроком продуктивной азотфиксации накапливают меньше азота, но и в этом случае его может быть 50-60 кг на 1 га. Важно учитывать также, что после возделывания бобовых культур происходит обогащение почвы азотом.

После уборки однолетних культур и запахивания растительных остатков в почву попадает 14-29 ц органического вещества на 1 га с содержанием 32-50 кг азота. После клевера и люцерны в почву поступает 47-73 ц растительных остатков, содержащих 96-167 кг азота. Многолетние бобовые культуры обеспечивают положительный азотный баланс почвы, а под однолетними культурами отмечается значительный дефицит азотного баланса почвы.

4.2. Нитрагинизация как прием повышения продуктивности симбиотической азотфиксации.

Клубеньковые бактерии специфичны, то есть, приспособлены к симбиозу только с определенным видом бобового растения. Бобовые культуры, впервые вводимые в культуры в той или иной зоне страны, вследствие узкой специфичности бактерий к растению-хозяину оказываются лишенными своего симбионта и не могут быть накопителями азота из атмосферы, они целиком переходят на питание за счет азота почвы и удобрений. Кроме того, длительное пребывание в почве клубеньковых бактерий без растения-хозяина, а

также в неблагоприятных условиях среды (повышенная кислотность почвы, засуха или затопление, недостаток элементов минерального питания и источников энергетического материала и т.д.) приводит к снижению их азотфиксирующей активности. Применение *нитрагина*, содержащего высокие титры (до 3 млрд. клеток в 1 г препарата) – один из главных приемов повышения не только урожайности бобовых культур, но и уровня накопления общего и биологически связанного азота в растениях и в почве.

Целесообразность применения нитрагина вызвана еще и тем, что наряду с активными штаммами *Rhizobium* в почве довольно широко распространены неактивные и малоактивные клубеньковые бактерии, которые не могут обеспечить бобовые растения биологическим азотом.

Использование нитрагина – препарата, содержащего специально отселекционированные высокоактивные штаммы клубеньковых бактерий, широко распространено в большинстве высокоразвитых стран. В нашей стране препарат клубеньковых бактерий производят главным образом на стерильном торфе, в 1 г которого содержится в среднем 3-4 млрд. бактерий. Такой торфяной препарат называется «ризоторфин».

Высокий положительный эффект оказывает применение нитрагина на почвах, где ранее бобовые культуры не возделывались. Применение нитрагина дает прибавки урожая в 2-8 ц/га. Наряду с влиянием на урожай нитрагинизация значительно повышает содержание белка в растениях, а проблема белка в настоящее время является первоочередной. Особенно это касается кормового белка, ежегодный дефицит которого пока значителен.

Бобовые культуры по содержанию белка стоят на первом месте среди сельскохозяйственных растений, кроме того, белок их отличается высоким качеством. Многие бобовые по содержанию незаменимых аминокислот (лизина, метионина, триптофана) значительно превосходят другие культуры. Как показывает практика нитрагинизации, использование этого приема существенно увеличивает содержание белка в урожае бобовых культур.

Применение нитрагина должно стать обязательным приемом агротехники.

4.3. Влияние бобовых растений на плодородие почв

Биологически связанный бобовыми культурами азот не весь отчуждается с урожаем, заметная часть его остается с корневыми и пожнивными остатками в почве. Доля биомассы бобовых растений, попадающая в почву, неодинакова для разных культур. Кроме того, она изменяется в зависимости от почвенно-климатических условий, уровня агротехники и величины урожая.

Содержание азота в корнях бобовых культур достигает 1,56-2,16%, в стерне – 1,0-1,85%.

Повышенное содержание азота в растительных остатках бобовых культур создает условия для их быстрой минерализации. Еще в период вегетации бобовых растений происходит минерализация листового и корневого опада и освобождение минеральных форм азота в почве. После уборки и запахивания остатков эти процессы проходят очень интенсивно. Изучение численности и активности аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий, активности почвенных ферментов (протеазы, аспарагиназы, уреазы), участвующих в минерализации органических веществ, показывает, что после бобовых культур в почве наблюдается активация процессов во всей цепи трансформации азота – от разложения белковых веществ до нитрификации. Вследствие этого уже в первый год после возделывания бобовых растений наблюдается достоверное повышение содержания в почве различных форм азотсодержащих соединений – общего, легкогидролизуемого, аммонийного и нитратного азота.

Значительно изменяется и нитрификационная способность почвы, и количество нитратов, накапливающихся в почве после возделывания бобовых культур. Последствие биологического азота наблюдается в течение трех лет – сохраняется повышенная активность ферментов, происходит интенсификация процессов, связанных с минерализацией веществ

углеводного характера – повышается активность инвертазы, и органических соединений фосфора – активизируется фосфатаза. Одновременно возрастает активность каталазы, де-гидрогеназы, а также полифенолоксидазы – фермента, связанного с процессами синтеза гумуса. Активность пероксидазы – фермента, участвующего в минерализации гумуса, наоборот, снижается.

Положительное влияние бобовых культур на плодородие почвы не ограничивается улучшением ее азотного режима, а проявляется более разносторонне: существенно повышается содержание гумуса, корни многолетних бобовых трав обогащают почву фосфором и кальцием, повышается водопрочность агрономически ценных почвенных агрегатов, улучшается водопроницаемость и пористость почвы, а плотность уменьшается.

В ряде случаев бобовые культуры специально высевают для целей повышения плодородия почв. Использование посевов этих культур в качестве зеленого удобрения почв, особенно песчаных, вошло в практику сельского хозяйства. Сведения о положительном действии зеленого удобрения на плодородие почвы, урожай последующих культур и их качество многочисленны.

Сравнительно недавно бобовые культуры стали применять для восстановления плодородия (рекультивации) нарушенных деятельностью человека почв. Такое применение их дает хорошие результаты. Так, отвалы добычи каолина в Англии были засеяны растениями различных видов, в том числе бобовыми – люпином и клевером. В опыте определяли активность нитрогеназы бобовых культур и несимбиотических азотфиксаторов. Установлено, что проявление несимбиотической азотфиксации в нарушенных почвах было возможно только при введении в них дополнительного источника углерода; а активность азотфиксации под бобовыми растениями была хорошо выражена и ее уровень был выше в 10 и более раз. В таких условиях даже внесение минерального азота не угнетало активности симбиотической азотфиксации. Поэтому бобовые культуры – наиболее ценный компонент растительного ценоза для рекультивируемых земель.

В другом опыте проводили исследования на отвалах выработок каменноугольных шахт. Залужение таких земель злаковыми травами при систематическом внесении высоких доз NPK экономически менее эффективно, чем посев по такому же фону удобрений травосмеси инокулированного клубеньковыми бактериями клевера с овсяницей. Приведенные данные свидетельствуют о перспективности использования бобовых культур в симбиозе с клубеньковыми бактериями для этого нового направления современного земледелия.

Анализ экспериментальных данных показывает, что в условиях интенсивного земледелия симбиотическая фиксация молекулярного азота бобовыми культурами остается важным источником пищевого и кормового белка, а также эффективным средством повышения плодородия почв.

4.4. Несимбиотическая фиксация атмосферного азота почвенными микроорганизмами

Способность к связыванию атмосферного (молекулярного) азота выявлена у многих десятков видов микроорганизмов. Большой прогресс в представлениях о несимбиотической азотфиксации в почве обусловлен разработкой новых высокочувствительных методов исследования. Широкое применение изотопного, а позже и ацетиленового метода дало чрезвычайно обширную информацию о несимбиотических почвенных азотфиксаторах. Применение ацетиленового метода исследований позволило открыть явление – азотфиксирующий ассоциативный симбиоз почвенных микроорганизмов с небобовыми растениями, а также новые виды азотфиксирующих микроорганизмов, ранее не описанных учеными.

Почвенные и агротехнические факторы, обеспечивающие хорошее развитие и высокую активность азотфиксирующих микроорганизмов, изучены и обстоятельно освещены в

трудах Федорова, 1952; Мишустина, Шильниковой, 1968; Мишустина, Емцева, 1974. Современные исследования подтвердили большую роль для жизнедеятельности этих организмов кислотность почв, гидротермических факторов, уровня аэрации почвы, оптимального содержания подвижных элементов питания, микроэлементов, а также доступных источников углерода.

В опытах с применением ацетиленового метода было показано, что активность несимбиотической азотфиксации имеет четкую корреляцию с влажностью и температурой почвы. Увеличение влажности с 60%ПВ до 85% повышает активность азотфиксации в сотни раз. Влажность почвы как значительный экологический фактор, оказывает воздействие и на качественный состав микробного ценоза. В условиях засухи только 1-5% почвенных микроорганизмов способны фиксировать азот, а в оптимальных условиях влажности – 20-90%. В отношении роли температурного фактора сделан вывод, что для несимбиотической азотфиксации в почвах умеренного климата оптимум составляет 25⁰С.

Большое значение имеет изучение влияния минерального азота на активность азотфиксации в почвах. Так же, как для симбиотической азотфиксации, аммиак является репрессором синтеза нитрогеназы свободноживущих микроорганизмов. Введение в питательную среду солей аммония мгновенно прекращает синтез нитрогеназы. Однако в почвенных условиях отрицательное влияние связанного азота на активность несимбиотической азотфиксации менее выражено, а иногда и отсутствует. По-видимому, в почвенных условиях внесение минерального азота не оказывает угнетающего действия на азотфиксирующие микроорганизмы как на чистые культуры в питательных средах.

Опыты последних лет с азотобактером показали в вариантах с инокуляцией увеличение всхожести семян и лучшее развитие корневой системы. Одновременно повышается активность азотфиксации в почве и урожай сельскохозяйственных культур.

Выявление широкого распространения азотфиксирующей способности в мире почвенных микроорганизмов, с одной стороны, и сравнительно невысокий вклад этих организмов в азотный баланс земледелия, с другой, привело к необходимости изучения факторов, ограничивающих накопление несимбиотически связанного азота в естественных условиях.

Как показывает анализ современных работ, главным фактором, лимитирующим продуктивность азотфиксации свободноживущими почвенными микроорганизмами, является количество доступных источников энергии для процесса восстановления молекулярного азота в аммиак.

Органические соединения, используемые азотфиксирующими микроорганизмами в качестве энергетического субстрата, довольно разнообразны. В основном это углеводы, органические кислоты и спирты. Корневые выделения некоторых культурных растений служат не только источником углерода для азотфиксирующих микроорганизмов, но и своего рода аттрактантами, привлекающими бактерии в зону корней. Наибольшее активирующее действие на почвенную микрофлору оказывают такие сахара, как глюкоза, фруктоза, сахароза.

Разрабатываются приемы внесения дополнительных энергетических субстратов для процесса связывания молекулярного азота. Наиболее широко с этой целью используется запахивание соломы. Положительное влияние внесения растительных остатков на активность несимбиотической азотфиксации в почве можно объяснить не только энергетическим обеспечением процесса связывания молекулярного азота, но и созданием в процессе минерализации органических материалов восстановленных условий, благоприятствующих активности нитрогеназы.

Внесение в почву органических удобрений имеет наибольшее влияние по сравнению с другими факторами на активность несимбиотической азотфиксации.

Продолжаются работы по установлению продуктивности процесса ассоциативной азотфиксации под различными сельскохозяйственными культурами, по изучению влияния инокуляции корневыми diaзотрофами на развитие растений и улучшение структуры уро-

жая. Это поможет определить величины использования атмосферного азота небобовыми растениями, а также наметить пути повышения использования атмосферного азота, сократив тем самым применение минерального азота.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие группы микроорганизмов обогащают почву азотом за счет фиксации его из атмосферы?
2. Кратко охарактеризуйте симбиотические микроорганизмы.
3. Дайте пояснение процессу нитрагенизации.
4. На какие показатели почвенного плодородия влияют бобовые культуры?
5. Кратко охарактеризуйте процесс несимбиотической азотфиксации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский. – М.: Колос, 1984. – 287 с.
2. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
3. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и техника, 1983. – 181 с.
4. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.
5. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева – М.: Дрофа, 2004. – 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ

5.1. Дыхание почвы.

Под *биологической активностью почв* понимают совокупность биологических процессов, протекающих в почве. Для ее комплексной характеристики, позволяющей оценить интенсивность и направленность процессов, обусловленных жизнедеятельностью почвенной биоты, используют *микробиологические* (численность, состав различных групп микро- и мезоорганизмов, биомасса микроорганизмов и т.д.) и *биохимические* (уровень ферментативной активности, «дыхание» почвы и т.д.) показатели.

Повышению биологической активности почвы способствует внесение органических и бактериальных удобрений, использование сидератов и правильных севооборотов, а также применение мелиорантов (извести, гипса) для поддержания благоприятных физико-химических свойств почвы и мероприятий, улучшающих водный, окислительно-восстановительный и тепловой режимы.

Скорость выделения CO_2 из почвы косвенно характеризует ее биологическую активность. Основная масса CO_2 выделяется за счет процессов минерализации органических веществ.

Эмиссия CO_2 из почвы является суммарным показателем биологической активности почвы, поэтому ее интенсивность в значительной степени зависит от численности микроорганизмов.

5.2. Целлюлозоразрушающая способность почв.

Целлюлозоразлагающая активность почв является отражением минерализационных и деструкционных процессов, осуществление которых главным образом обуславливается определенным уровнем и соотношением активности ферментов (Безкороваяная, 2010). Актуальная целлюлозоразлагающая активность характеризует функционирование почвенных организмов в реальных экологических условиях, потенциальная активность, обусловленная активностью ферментов, продуцируемых почвенной биотой в оптимальных условиях - скрытую способность почвы вызывать ряд биологических процессов.

Из всех органических соединений в природе наиболее распространена целлюлоза.

Растения ежегодно образуют огромные количества целлюлозы, в которой углерод находится в виде органических соединений.

Биологический круговорот углерода — грандиозный процесс: достаточно себе представить, что при отмирании растений в почву попадает огромная масса растительных остатков, в лесах накапливается подстилка, на дно водоемов откладываются водоросли и т. д., и все они содержат целлюлозу и углерод в органической форме.

Целлюлозу в почве разлагают аэробные и анаэробные микроорганизмы. Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии выделяют много слизи, которая участвует в процессах оструктурирования почвы и гумусообразования.

Одним из компонентов синтеза гуминовой кислоты являются продукты разложения клеточных стенок растений целлюлозоразлагающими микроорганизмами — миксобактериями. Полученные в данном процессе углеводы используются другими микроорганизмами (азотфиксирующими и т. д.), что также является важным моментом. Интенсивность разложения целлюлозы определяется почвенными условиями, а также содержанием фосфора, азота и других питательных веществ.

В карбонатных черноземах широко распространены целлюлозоразлагающие микроорганизмы, численность которых составляет 0,1—0,5 млн. на 1 г почвы. В разложении цел-

люлозы активно участвуют бактерии, в том числе актиномицеты. Меньшую активность проявляют грибы. В поверхностном горизонте (0—20 см) возделываемых участков этого типа почв высока численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, значительную активность среди которых проявляют бактерии. Большая численность актиномицетов в выщелоченных черноземах свидетельствует о более медленном разложении целлюлозы в этих почвах.

В темно-серых лесных почвах больше бактерий и меньше грибов и актиномицетов, в оподзоленных преобладают целлюлозоразлагающие бактерии, а в серых лесных почвах — миксобактерии и грибы.

В смолницах численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов значительно варьирует по сезонам. Актиномицеты составляют от 40 до 90% общего количества целлюлозоразлагающих микроорганизмов, что дает основание предполагать медленное прохождение процесса минерализации целлюлозы. В типичных и слабовыщелоченных коричневых лесных почвах бактерии, актиномицеты и грибы представлены почти в одинаковом соотношении. При оподзоливании таких почв отмечается тенденция к снижению численности бактерий, грибов и увеличению актиномицетов. В гумусно-карбонатных почвах менее распространены бактерии, но в них больше актиномицетов и грибов.

В целом данные по изучению распространения микроорганизмов и соотношений между их отдельными группами позволяют предположить, что разложение целлюлозы в почвах Болгарии протекает довольно интенсивно. Однако это зависит от особенностей типа почвы.

Целлюлозоразлагающая активность почвы зависит от численности, состава и активности микрофлоры. Проведенные исследования показывают, что она определяется главным образом содержанием азота, влажностью почвы и составом растительных остатков в ней. Более активно разлагается органическое вещество с высоким содержанием азота (остатки бобовых культур), при этом стимулируется размножение аммонифицирующих бактерий и накапливается усвояемый азот, необходимый для жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

Интенсивность разложения целлюлозы в большой степени зависит от влажности и содержания азота в почве, и наиболее активно этот процесс происходит весной и осенью. Температура и тип почвы оказывают незначительное влияние на интенсивность данного процесса. Важное значение имеют агротехнические приемы, применяемые при возделывании культур. Разложение целлюлозы — важный процесс, обусловленный наличием органического вещества в почве, и, следовательно, он поддается регулированию.

5.3. Протеолитическая активность почв.

В составе растительных остатков и микробных тел в почву поступает значительное количество белковых веществ, аминокислот и других азотсодержащих органических соединений. В дальнейшем превращении этих соединений большую роль играют присутствующие в почве протеолитические и дезаминирующие ферменты. В результате процессов последовательного протеолитического расщепления до аминокислот и распада под действием амидогидролаз и дезаминаз с выделением аммиака азот белковых веществ превращается в доступную для высших растений форму. Это явление в целом известно как процесс аммонификации. Протеазы, амидогидролазы и дезаминазы, обуславливая динамику азота, играют важную роль в жизни почвы.

Протеолитические ферменты катализируют гидролитическое расщепление белковых веществ до пептидов и гидролиз этих продуктов до аминокислот. Расщепление белков и пептидов происходит по месту пептидных связей.

Протеазы делят на две группы: протеиназы и пептидазы. Первые из них расщепляют настоящие белки, а вторые катализируют распад полипептидов и дипептидов до аминокислот. Однако такое деление довольно условно.

При определении активности протеаз в почве в качестве субстрата обычно применяют казеин, желатину и некоторые пептиды. Активность протеаз учитывают по количеству аминокислот или других кислоторастворимых продуктов, освобождающихся при распаде белковых субстратов в почве, или по изменению физических свойств субстрата, например, по уменьшению вязкости.

Протеолиз — процесс ферментативного разложения белков, катализирующийся протеолитическими ферментами (протеазами).

Протеолиз играет большую роль в следующих процессах в организме:

- расщепление до аминокислот белков;
- расщепление собственных белков в процессе метаболизма;
- образование ферментов, гормонов и биологически активных пептидов из их неактивных предшественников;
- в растениях *протеолиз* участвует в мобилизации запасных белков семян при прорастании.

5.4. *Нитрификация почв.*

Аммиак, образующийся в почве, навозе и воде при разложении органических веществ, довольно быстро окисляется до азотистой, затем азотной кислоты. Этот процесс получил название нитрификация. До работ Л. Пастера образование нитратов объяснялось как результат химической реакции окисления аммиака атмосферным кислородом. Причем предполагалось, что почва играет роль химического катализатора. Л. Пастер предположил, что образование нитратов — микробиологический процесс. Первые экспериментальные доказательства этого предположения были получены Т. Шлезингом и А. Мюнцем в конце 19-го века. Однако выделить культуры возбудителей нитрификации удалось лишь в 1890-1892 гг. С. Н. Виноградскому, который применил особую методику изолирования чистых культур нитрификаторов. Нитрификаторы оказались хемолитоавтотрофами, очень чувствительными к наличию в среде органических соединений.

С. Н. Виноградский установил, что существуют две группы нитрификаторов. Бактерии обеих групп в настоящее время относят к семейству Nitrobacteriaceae. Это одноклеточные грамотрицательные бактерии. Среди нитрифицирующих бактерий имеются виды с весьма различающейся морфологией — палочковидные, эллипсоидные, сферические, извитые и дольчатые, плеоморфные. Размеры клеток разных видов Nitrobacteriaceae колеблются от 0,3 до 1 мкм в ширину и от 1 до 6,5 мкм в длину. Имеются как подвижные, так и неподвижные формы. Размножаются они в основном делением, за исключением Nitrobacter, который размножается почкованием.

Нитрификаторы — облигатные аэробы. С помощью кислорода они окисляют аммиак до азотистой кислоты (первая фаза нитрификации), а затем азотистую кислоту до азотной (вторая фаза нитрификации):

Предполагают, что процесс нитрификации проходит в несколько этапов. Первым продуктом окисления аммиака является, который затем превращается в нитроксил (NOH), либо пероксонитрит (ONOOH), который, в свою очередь, преобразуется в дальнейшем в нитрит или нитрит и нитрат.

Кроме первой реакции (образования гидроксиламина из аммония), все последующие превращения сопровождаются синтезом макроэргических связей в виде АТФ, необходимых клеткам микроорганизмов для связывания CO₂ и других биосинтетических процессов. Этапность процесса нитрификации — характерный пример так называемого метабиоза, то есть такого рода трофических связей микробов, когда один микроорганизм развивается после другого на отходах его жизнедеятельности. Как было показано, аммиак — продукт жизнедеятельности аммонифицирующих бактерий используется Nitrosomonas, а нитриты, образующиеся последними, служат источником жизни для Nitrobacter.

Явление нитрификации для земледелия имеет двойное значение. Накопление нитратов

происходит с неодинаковой интенсивностью на разных почвах. Однако этот процесс находится в прямой зависимости от плодородия почвы. Чем богаче почва, тем большее количество азотной кислоты она может накапливать. Существуют методы определения запасов доступного растениям азота в почве по показаниям нитрификационной способности. Следовательно, по интенсивности нитрификации можно дать характеристику агрохимических свойств почвы.

Вместе с тем при нитрификации происходит лишь перевод одного питательного для растений вещества — аммиака в другую форму - азотную кислоту. Нитраты, однако, обладают некоторыми нежелательными свойствами. В то время как ион аммония поглощается почвой, соли азотной кислоты легко вымываются из нее. Кроме того, нитраты могут восстанавливаться в результате денитрификации до N_2 , что также обедняет азотный запас почвы, существенно снижает коэффициент использования нитратов растениями. В растительном организме соли азотной кислоты при их использовании для синтеза, должны быть восстановлены, на что тратится энергия. Аммоний же используется непосредственно. В связи с этим ставится вопрос о подходах к искусственному снижению интенсивности процесса нитрификации путем использования специфических ингибиторов, подавляющих активность бактерий-нитрификаторов и безвредных для других организмов. Следует отметить, что некоторые гетеротрофные микроорганизмы способны осуществлять нитрификацию. К гетеротрофным нитрификаторам относятся бактерии из родов *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Nocardia* и некоторые грибы из родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*. Установлено, что *Arthrobacter* sp. окисляет в присутствии органических субстратов аммиак с образованием гидроксилamina, а затем нитрита и нитрата.

Некоторые бактерии способны вызывать нитрификацию таких азотсодержащих органических веществ, как амиды, амины, гидроксамовые кислоты, нитросоединения (алифатические и ароматические), оксимы и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под биологической активностью почв?
2. Кратко охарактеризуйте процесс дыхания почвы.
3. Дайте пояснение процессу нитрификации.
4. Что такое целлюлозоразрушающая способность почв?
5. Кратко охарактеризуйте процесс протеолитического расщепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский. — М.: Колос, 1984. — 287 с.
2. Дыхание почвы / Г.А. Заварзин - Пушкино, 1993. - 144 с. ISBN 5-201-10580-7.
3. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. — М.: Изд-во МГУ, 2005. — 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
4. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. — М.: Наука и техника, 1983. — 181 с.
5. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. — М.: КолосС, 2010. — 367 с. — ISBN 978-5-9532-0718-8.
6. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева — М.: Дрофа, 2004. — 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. — М.: КолосС, 2008. — 599 с.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ И СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ НА ЕЕ БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ

6.1. *Влияние чередования культур на состав микрофлоры*

Сельскохозяйственные культуры возделывают либо в севообороте, где принято определенное их чередование, либо бессменно на одном месте в течение нескольких лет (т.к. монокультура). Практически во всех почвенно-климатических зонах урожаи в севообороте выше, чем в монокультуре, что во многом обусловлено различиями в биологической активности почвы.

Положительная роль предшественника сводится не только к повышению урожайности возделываемой культуры, но он также влияет на обогащение почвы органическим веществом — основным источником энергии для развития микрофлоры. Влияние пожнивных остатков на плодородие почв и почвенно-биологические процессы зависит как от их количества, так и от состава, особенно содержания азота. Заделка растительных остатков после уборки урожая приводит к повышению численности микрофлоры независимо от типа почвы. Развитие отдельных групп микроорганизмов и активизация микробиологических процессов зависит в основном от состава и содержания азота в растительных остатках. Так, при запахивании бедных азотом растительных остатков активируются процессы, приводящие к снижению количества усвояемого азота. Эти факторы следует учитывать при подборе предшественников и определении доз удобрений.

Отрицательное влияние бессменного возделывания пшеницы можно объяснить такими неблагоприятными биологическими факторами, как увеличение в ризосфере пшеницы численности микрофлоры, иммобилизующей азот и другие питательные вещества, рост антагонистов полезной микрофлоры в ризосфере монокультуры и др. После продолжительного бессменного возделывания в ризосфере озимой ржи, картофеля и люпина отмечено снижение общей численности микроорганизмов.

Ризосферная микрофлора каждого вида растений имеет свою специфичность. В ризосфере пшеницы содержится больше микроорганизмов — антагонистов, чем в ризосфере люцерны, кукурузы и других культур, выращиваемых в тех же условиях. Численность антагонистов азотобактера в ризосфере пшеницы снижается, если эту культуру возделывают при оптимальном применении удобрений.

Численность, состав, активность микроорганизмов в ризосфере большинства сельскохозяйственных культур при различном их чередовании этих культур различаются. В ризосфере пшеницы при возделывании ее после различных предшественников численность аммонифицирующих бактерий незначительна, главным образом преобладают микроорганизмы, использующие минеральный азот. Наибольшая численность этих групп микроорганизмов — в ризосфере пшеницы при возделывании ее по пару или после гороха.

У растений ячменя численность и соотношения отдельных групп микроорганизмов под влиянием предшественника и удобрений практически не изменяются. При этом численность аммонифицирующих микроорганизмов остается невысокой.

В ризосфере гороха, возделываемого после различных предшественников, преобладают бактерии, связанные с использованием минерального азота. Это можно объяснить повышенным содержанием азота в корневой массе бобовых культур. После злаковых предшественников в ризосфере гороха отмечалось снижение численности микрофлоры.

В ризосфере подсолнечника независимо от предшественника обнаруживалось почти одинаковое количество микрофлоры, использующей органический и минеральный азот. В ризосфере кукурузы под влиянием предшественника изменялась в основном численность аммонифицирующих бактерий. В целом можно сказать, что в ризосфере подсолнечника,

кукурузы и сорго численность аммонифицирующих бактерий выше, чем в ризосфере других культур.

Существенно меняются численность и состав микрофлоры при монокультурном возделывании пшеницы. В ризосфере бессменно возделываемой пшеницы численность бактерий, связанных с иммобилизацией усвояемого азота, выше, чем в ризосфере пшеницы, возделываемой после гороха. Численность и состав ризосферной микрофлоры пшеницы зависит от предшественника в большей степени, чем, например, у пропашных культур. Меняется численность микрофлоры, использующей для своего развития минеральные формы азота. Предшественник в значительной степени определяет интенсивность процессов иммобилизации усвояемого азота. Пропашные предшественники пшеницы усиливают процессы минерализации, а пшеница и ячмень увеличивают численность микроорганизмов, связанной с иммобилизацией усвояемого азота.

В ризосфере сахарной свеклы, возделываемой после различных предшественников, накапливаются бактерии, усваивающие органические формы азота, и бактерии, усваивающие минеральный азот. При бессменном возделывании свеклы увеличивается численность актиномицетов и почвенных микроскопических грибов. При возделывании свеклы после вико-овсяной смеси увеличивается общая численность ризосферной микрофлоры. Наиболее низкая биогенная активность почв отмечена при возделывании свеклы после пшеницы. Люцерна в качестве предшественника сахарной свеклы вызывает увеличение численности микроорганизмов в ризосфере; при этом значительно возрастает количество бактерий, усваивающих минеральные и органические формы азота.

На почвах Болгарии были проведены исследования по влиянию бессменного возделывания на жизнедеятельность ризосферной и почвенной микрофлоры некоторых овощных культур. При возделывании в монокультуре перца, среднеранних томатов и картофеля в ризосфере растений и в почве снижается численность бактерий, минерализующих органические азотсодержащие соединения. Отмечено также некоторое снижение численности и обеднение видового состава актиномицетов и почвенных микроскопических грибов.

Благоприятное влияние на развитие почвенных микроорганизмов и интенсивность микробиологических процессов оказывает травопольный овощной севооборот. На участках, занятых травяной смесью, активизируется развитие бактерий, актиномицетов и почвенных грибов. Увеличение численности почвенной микрофлоры происходит также на участках, занятых перцем после запашки травяной смеси. В весенний период численность микроорганизмов возрастает слабо, в летний — значительно, что вызвано главным образом трансформацией органических веществ в почве. Травяные смеси в овощных севооборотах активизируют также развитие аммонифицирующих бактерий, причем запашка травяной массы или пожнивных остатков приводит к еще более бурному развитию этих бактерий.

Возделывание трав и внесение навоза в овощных севооборотах усиливают нитрификацию, особенно в летние и осенние месяцы. После распашки травяного пласта нитрифицирующая активность почвы бывает очень высокой. Благоприятное воздействие на развитие азотобактера в почве оказывает многолетние бобово-злаковые травосмеси, которые снижают численность антагонистов азотобактера и увеличивают численность микроорганизмов, положительно влияющих на его развитие. Аналогично травосмесям положительное влияние на микрофлору оказывают однолетние бобовые культуры (фасоль, горох).

Таким образом, чередование культур следует рассматривать как прием, регулирующий интенсивность и направленность биологических процессов в почве. Севооборот — не просто набор культур, переносящих или не переносящих друг друга, а средство регулирования и оптимизации биологических свойств почвы. Регулирование микробиологических процессов в почве — это важный резерв повышения ее плодородия.

6.2. Обработки почв и ее биологическая активность

При обработках почвы (особенно ее глубокой вспашке) существенно меняется воздушный, водный и пищевой режим. Безусловно, это в первую очередь сказывается на направленности и интенсивности микробиологических процессов.

Распашкой целины или залежей в почве создаются благоприятные условия для почвенного микронаселения. Увеличивается численность бактерий (особенно аммонифицирующих и нитрифицирующих), актиномицетов, плесневых грибов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Влияние других способов обработок на биологическую активность почвы не является столь однозначным и зависит от почвенных и климатических условий. Так, на дерново-подзолистых почвах замена вспашки дискованием привела к активизации микрофлоры только в июне и уже к августу наблюдалось ее затухание. При вспашке повышенная биологическая активность была отмечена в течение всего вегетационного периода. Систематическая безотвальная глубокая обработка этих почв плоскорезом сопровождалась усилением активности микробиологических процессов только в верхнем (0-10 см) слое. Здесь происходила концентрация микроорганизмов, связанных с переработкой свежих растительных остатков: грибов и целлюлозоразрушающих бактерий. Повышенная плотность нижележащих слоев почвы при безотвальном рыхлении, по мнению ряда исследователей, создает неблагоприятные условия для развития микроорганизмов, главным образом из-за скопления токсичных соединений, продуцируемых микроорганизмами.

На черноземных почвах мелкая обработка создает благоприятные условия для развития азотобактерий и активности протеолитических ферментов. В паровом поле мелкая обработка по сравнению с глубокой вспашкой не снижает интенсивность нитрификационных процессов. В то же время способы обработки черноземных почв не оказывали существенного влияния на физиологическую активность бактерий, мобилизующих фосфаты.

Относительно влияния глубокого безотвального рыхления на биологическую активность черноземных почв имеются противоречивые мнения. Но все же большинство исследователей склоняется к точке зрения о более активной деятельности почвенной биоты в верхнем (0-20 см) слое почвы. В первую очередь это касается микроорганизмов, минерализующих растительные остатки. В то же время в ряде опытов отмечено замечательное снижение микробиологической активности черноземных почв при глубоком безотвальном рыхлении.

Изменение активности почвенной биоты в каштановых почвах и солонцах изучали только в единичных опытах и вследствие противоречивости полученных результатов сделать какие-либо определенные выводы пока не представляется возможным.

6.3. Влияние удобрений на биологическую активность почв

Минеральные удобрения. Наряду с основными агрохимическими показателями плодородия почвы (содержание гумуса и элементов минерального питания, реакция почвы, физико-химические свойства) существует такой показатель, как биологическая активность, которая в основном обуславливается деятельностью почвенной микрофлоры. Сразу же после внесения в почву удобрений начинается сложная цепь их физико-химических, химических и микробиологических превращений. Все это не может не сказаться на биологических свойствах почвы, которые находятся во взаимосвязи с ее физико-химическими и агрохимическими свойствами.

В нашей стране и за рубежом установлено, что внесение небольших доз удобрений, особенно на фоне извести, не только не угнетало, а, напротив, увеличивало численность агрономически важных физиологических групп почвенных микроорганизмов — аммонифицирующих, нитрифицирующих, денитрифицирующих бактерий и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, повышало ферментативную активность почв и интенсивность продуцирования почвенной углекислоты.

Менее изучены биологическая активность почв и биологическая трансформация удобрений при внесении повышенных и высоких доз удобрений. Влияние повышенных и высоких доз минеральных удобрений на микрофлору почвы изучалось венгерскими учеными. Ими установлено, что при внесении 100 кг/га азота в карбонатный чернозем значительно возрастала целлюлозолитическая активность почвы, а при внесении 500 кг/га — снижалась. Работами чешских ученых показано, что внесение под сахарную свеклу минеральных удобрений в дозах $N_{200}P_{80}K_{200}$ ингибировало размножение азотобактера, актиномицетов и клетчаткоразрушающих бактерий. При совместном внесении этих удобрений (в тех же дозах с навозом, 30 т/га) активность разложения целлюлозы повышалась.

В нашей стране исследованиями, проведенными в условиях лесостепи Западной Сибири, установлено, что внесение на выщелоченном черноземе под овсяницу луговую $N_{120-240}P_{120}K_{120}$ не оказывало угнетающего действия на общую численность микрофлоры, но увеличивало численность грибов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

При внесении под сахарную свеклу $N_{120}P_{120}K_{120}$ на выщелоченном черноземе ЦЧО не происходило роста численности различных физиологических групп микроорганизмов, но наблюдался сдвиг в микробоценозе — снижалась численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, в сообществе которых преобладали сапрофитные грибы *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium* и актиномицеты.

Установлено положительное влияние на основные показатели биологической активности почвы удобрений, внесенных на черноземе под сахарную свеклу в дозе $N_{240}P_{120}K_{240}$.

Аналогичные данные получены в Болгарии. Внесение минеральных удобрений на карбонатных и выщелоченных черноземных почвах в дозах $N_{120-180}P_{120-180}K_{120-180}$ положительно влияло на их биологическую активность. Однако увеличение дозы минеральных удобрений, особенно азотных до 240—480 кг/га, ухудшало биологические свойства почвы — уменьшалась численность почвенных микроорганизмов, подавлялась ферментативная активность почв.

Негативное влияние высоких доз минеральных удобрений на микрофлору отмечено и на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. При орошении культурных пастбищ, орошаемых сточными водами, внесение минеральных удобрений в дозах $N_{285}P_{250}K_{285}$ и $N_{1570}P_{500}K_{570}$ снижало биологическую активность почвы, причем большая доза в большей степени. Высокие дозы минеральных удобрений оказывают ингибирующее действие на разложение клетчатки в дерново-подзолистых почвах. Следовательно, даже разовое внесение минеральных удобрений в повышенных и высоких дозах может приводить к существенным изменениям показателей биологической активности почвы, изменять микробоценоз в год их внесения.

Более же объективную, исчерпывающую информацию действия минеральных удобрений на изменения биологической активности почвы позволяют получать длительные стационарные опыты. Они дают возможность выявить многостороннюю как позитивную, так и негативную направленность микробиологических процессов.

Таким образом, микробиологические исследования по влиянию систематического внесения невысоких доз минеральных удобрений отдельно и совместно с навозом дают возможность заключить, что внесение одних минеральных удобрений на кислых дерново-подзолистых почвах приводит к снижению биологической активности почв и изменению микробоценоза — снижению численности некоторых агрономически полезных групп микроорганизмов и увеличению количества грибов, что обусловливается повышением кислотности почвы. При известковании кислых почв негативное влияние минеральных удобрений на микрофлору почв проявляется слабее, при этом биологическая активность почв повышается. Совместное внесение невысоких доз минеральных удобрений с навозом в основном способствует повышению биологической активности почв благодаря усилению в них микробиологических процессов.

В нашей стране в различных земледельческих регионах проведено немало исследований по влиянию систематического внесения минеральных удобрений на биологическую

активность черноземных почв. При этом в большинстве случаев отсутствует негативное влияние систематического внесения невысоких доз минеральных удобрений на биологическую активность черноземов. Больше того, часто возрастает численность основных групп почвенной микрофлоры.

Так, установлено положительное влияние десятилетнего систематического внесения невысоких доз минеральных удобрений на биологическую активность среднесуглинистого чернозема: увеличивалась численность микроорганизмов, использующих органический и минеральный азот, возросли процент разложения целлюлозы и накопление свободных аминокислот. Не отмечено негативного действия длительного (в течение 22 лет) применения минеральных удобрений на биологическую активность почв и на черноземах Молдавии: типичном — $N_{30}P_{30}K_{30}$ карбонатном — $N_{60}P_{90}K_{60}$.

Аналогичные данные были получены на обыкновенных черноземах юго-востока Центрально-Черноземной зоны. Систематическое ежегодное внесение $N_{31}P_{18}K_{37}$ стимулировало активность микробиологических процессов на обыкновенных черноземах.

На предкавказском карбонатном черноземе на активность процессов аммонификации, нитрификации, разложение целлюлозы и выделение CO_2 положительный эффект оказывало систематическое внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Повышение биологической активности почв от длительного применения невысоких доз минеральных удобрений отмечается на обыкновенном черноземе Украины, на основных подтипах черноземов Зауралья, на черноземах Северного и Восточного Казахстана, на черноземах Воронежской области. Аналогичные закономерности установлены учеными в Болгарии, Венгрии, Чехословакии.

Высокие дозы минеральных удобрений могут изменять количественные соотношения между различными группами почвенной микрофлоры — угнетать одни группы и способствовать размножению других. В свою очередь почвенные микроорганизмы могут оказывать не только положительное влияние на плодородие почвы и развитие растений, но и отрицательное влияние на биологические свойства почвы из-за способности некоторых представителей почвенной микрофлоры синтезировать фитотоксические вещества. Микроорганизмы, синтезирующие токсические вещества, встречаются среди бактерий и грибов. Способность продуцировать фитотоксические вещества была обнаружена у грибов-сапрофитов из рода *Penicillium*, у актиномицетов, выделенных из различных почв. Много штаммов грибов из рода *Fusarium* обладали токсичностью, снижали всхожесть семян и рост проростков ржи, овса, ячменя.

Была изучена большая коллекция почвенных сапрофитных грибов, выделенных из различных дерново-подзолистых почв Московской области, и обнаружено среди них много токсинообразующих форм. Наиболее токсичными и наиболее распространенными среди них оказались представители из родов *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*.

Дальнейшими исследованиями была показана способность синтезировать фитотоксические вещества у 55 видов почвенных актиномицетов, составляющих нередко до 55% общей численности аэробной микрофлоры почвы. Отмечено повышенное накопление в почве фитотоксических микроорганизмов при систематическом внесении высоких доз минеральных удобрений. Так, увеличение токсических форм сапрофитных грибов в кислой дерново-подзолистой почве установлено при длительном применении минеральных удобрений в дозе $N_{100}P_{100}K_{100}$ и выше. В этих опытах известкование почвы снижало, но не устраняло отрицательного действия систематического применения минеральных удобрений. Однако в литературе, к сожалению, пока мало данных о непосредственной связи между накоплением в почве фитотоксических микроорганизмов и токсичностью почвы, особенно при длительном применении удобрений.

Итак, имеющиеся экспериментальные данные показывают, что длительное внесение высоких доз минеральных удобрений повышало биологическую активность почвы, но одновременно проявлялось их негативное влияние на ее биологические свойства.

Влияние органических удобрений и органических остатков на микрофлору почвы. Ре-

зультаты исследований показывают, что в 1 г полуразложившегося навоза содержится 2,1 млрд. аммонифицирующих бактерий, численность которых в перепревшем навозе снижается до 1,8 — 0,3 млрд. Численность бактерий, усваивающих органические фосфорные соединения и переводящих их в минеральную форму, составляет: в 1 г свежего навоза — 2,2 млн., полуперепревшего — 57,6 млн. и перепревшего — 156 млн. Следовательно, при разложении навоза резко снижается численность аммонифицирующих бактерий, а увеличивается численность фосфобактерий, использующих органические соединения фосфора и минерализующих их до усвояемых фосфатов. После внесения навоза в почву меняется также численность микроорганизмов, участвующих в минерализации органических соединений азота и фосфора в почве. Численность микроорганизмов, использующих минеральный азот, увеличивается с 6,6 до 20 млн. на 1 г перепревшего навоза, а использующих минеральный фосфор возрастает с 0,2 млн. в 1 г свежего навоза до 13 млн. в 1 г перепревшего навоза. Таким образом, при разложении навоза, кроме минерализации, протекают также процессы иммобилизации, которые предохраняют потери усваиваемых питательных веществ.

Степень воздействия навоза на почвенную микрофлору зависит от вида возделываемой культуры. При удобрении культур сплошного сева (например, пшеницы) к концу вегетации возрастает численность бактерий, участвующих в иммобилизации азота. Повидимому, это связано с наличием в почве большого количества корневых остатков, бедных азотом. При внесении навоза под пропашные культуры возрастает численность бактерий, связанных с процессами минерализации, и, наоборот, снижаются бактерии, вызывающие иммобилизацию. Внесение навоза под бобовые культуры вызывает значительное повышение интенсивности минерализации и почти не влияет или снижает иммобилизацию усвояемого азота. Если в почву одновременно с навозом вносят суперфосфат, то существенных изменений в течение процессов мобилизации и иммобилизации не наблюдается.

Внесение навоза совместно с азотными и фосфорными удобрениями в почвы с неблагоприятными биологическими свойствами ускоряет процессы минерализации и улучшает поступление усвояемых питательных веществ в почву. Применение перепревшего навоза на почвах с высокой биогенностью, которой обладают все почвы под культурами с сильно развитой корневой системой, но бедной азотом (небобовые), усиливает иммобилизацию азота и фосфора и увеличивает количество микрофлоры, что является причиной ухудшения питания растений.

Внесение навоза — один из лучших способов улучшения биологических свойств почвы, значение которого особенно возрастает после длительного применения минеральных удобрений, вызывающего усиленную минерализацию органического вещества. Поскольку количество навоза ограничено, и повышение его доз под полевые культуры нереально, необходимо использовать другие источники, способные обогащать почву органическим веществом, — органические отходы промышленности и сельского хозяйства и т. д.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под биологической активностью почв?
2. Кратко охарактеризуйте процесс дыхания почвы.
3. Дайте пояснение процессу нитрификации.
4. Что такое целлюлозоразрушающая способность почв?
5. Кратко охарактеризуйте процесс протеолитического расщепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский. — М.: Колос, 1984. — 287 с.

2. Дыхание почвы / Г.А. Заварзин - Пушкино, 1993. - 144 с. ISBN 5-201-10580-7.
3. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
4. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и техника, 1983. – 181 с.
5. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.
6. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева – М.: Дрофа, 2004. – 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕСТИЦИДОВ И МИКРОБНЫХ ЗЕМЛЕУДОБРИТЕЛЬНЫХ БИОПРЕПАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

7.1. *Воздействие пестицидов на почвенные микроорганизмы*

Пестициды как токсиканты окружающей среды. Проблема токсичности пестицидов для биоты стоит очень остро. Основная опасность пестицидов заключается во включении их в биологический круговорот. По пищевым цепям они могут доходить до высших организмов и в том числе человека, концентрируясь в каждом из звеньев. В. Эйхлер (1986) считает, что воздействие пестицидов через пищевые цепи представляет для человека гораздо большую опасность, чем радиоактивность, потому что опасность радиоизотопов определена, а о токсичности пестицидов известно еще слишком мало. Кроме того, существует проблема “субтоксичности”, когда нет острого отравления организма, а нарушается какой-либо отдельный биологический механизм, что может в конечном счете оказаться не менее угрожающим.

Существуют классификации, в которых пестициды рассматриваются как химические соединения или же основное внимание уделяется механизмам их целевого действия. В экологической классификации, наиболее важными критериями являются степень токсичности для организмов, персистентность (химическая устойчивость в окружающей среде) и селективность воздействия пестицидов.

По токсичности для человека и теплокровных животных пестициды делят на четыре группы: сильнодействующие препараты — ЛД₅₀ (наименьшая доза пестицида, вызывающая смертность 50% подопытных животных) до 50 мг/кг, высокотоксичные — 50 — 200, среднетоксичные — 200 — 1000, малотоксичные — свыше 1000 мг/кг. Наиболее выраженным токсическим действием обладают пестициды хлорорганической и фосфорорганической групп, органические соединения меди, ртутьорганические соединения и производные фенола.

7.2. *Влияние пестицидов на биологическую активность почв*

Свидетельством отрицательного эффекта пестицида на почвенные микроорганизмы служит замедление изучаемого процесса по сравнению с контролем. При этом может быть не один, а несколько видов отрицательного действия пестицида, например снижение скорости процесса и длительность периода — времени, в течение которого отсутствует видимое превращение внесенного в почву субстрата.

Среди потенциально возможных реакций почвенных микроорганизмов и осуществляемых ими процессов на пестициды в той или иной степени выделяются различные варианты угнетения и стимуляции активности, а также индифферентного отношения к пестициду.

Гербициды в целом угнетают дыхание почвы и процесс нитрификации. Такие выводы были сделаны на основе испытаний 71 пестицида по 25 почвенно-биологическим процессам. Установлено, что наиболее чувствительны к пестицидам фосфатазная активность, процессы нитрификации и разложения органического вещества. Гербициды угнетают также дегидрогеназную активность.

Существуют данные о том, что в производственных дозах пестициды часто не ингибируют, а, наоборот, стимулируют многие микробиологические процессы. Отмечена стимуляция дыхания в почве малыми дозами пестицидов. Высокие дозы пестицидов увеличивают интенсивность выделения углекислого газа почвой. Однократное внесение пестицидов часто не влияет на активность ферментов и, в частности, целлюлаз. Пестициды в целом слабо изменяют активность уреазы и интенсивность процессов денитрификации и

азотфиксации при однократной обработке почвы. Воздействие пестицидов на ферментативную активность почв, как правило, временное, особенно в начальный период после обработки, впоследствии наблюдается постепенное восстановление активности до исходного уровня.

Влияние пестицидов на численность микроорганизмов в почве. Типы реакции почвенных микроорганизмов на пестициды колеблются в широких пределах — от высокой устойчивости до высокой чувствительности. От фунгицидов сильнее всего снижается численность нитрификаторов, а также значительно уменьшается количество почвенных грибов; бактерии и актиномицеты подавляются ими в меньшей степени. В одном из опытов при фумигации почвы метилбромидом, хлорпикрином, метилизотиоцианатом резко сокращалась численность всех групп микроорганизмов, но через некоторое время происходила активизация жизнедеятельности почвенной биоты. В литературе содержатся сведения об угнетающем действии ряда пестицидов на численность разных групп микроорганизмов: каптан и ПХНБ снижал численность патогенных грибов, эптатаксафен и гептахлор — бактерий, цинеб — спорообразующих бактерий, прометрин и аретит — устойчивых к стрептомицину бактерий, эптам, дикват, атразин — грибов, а в ряде случаев — всех групп микроорганизмов. Численность микроорганизмов снижалась не сразу, а через несколько недель после внесения препаратов. Испытание с помощью разнообразных почвенных тестов влияния свыше 300 пестицидов на почвенные микроорганизмы показало, что грибы угнетаются большим числом веществ, меньшими концентрациями и в течение более длительного времени, чем бактерии.

Среди фактов стимуляции роста микроорганизмов пестицидами отметим следующие: каптан и паратионметил увеличивали численность многих групп бактерий, актиномицетов и сапротрофных грибов; в повышенных дозах паратионметил стимулировал целлюлозоразрушающие и нитрифицирующие бактерии; линдан и дильдрин увеличивали численность аммонифицирующих, а атразин — нитрифицирующих бактерий. В первое время после обработки пестицидами может возрастать количество грибов и гетеротрофных бактерий, а многолетнее применение триазиновых гербицидов способно увеличивать число выделяемых из почвы видов грибов.

В литературе отмечено также и индифферентное отношение микроорганизмов к пестицидам. Так, установлено, что в производственных и даже повышенных дозах триазиновые гербициды не влияют на численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. В обычно применяемых дозах гербициды, как правило, не токсичны или слабо токсичны для большинства микроорганизмов. Даже такой устойчивый к разложению гербицид как атразин не оказывал существенного влияния на численность почвенных бактерий и грибов. Имеются данные, что триазиновые гербициды не изменяли общую численность стрептомицетов при ежегодной в течение 2 — 3 лет обработке почвы.

Таким образом, имеющийся литературный материал пока не позволяет сделать какие-либо однозначные выводы о действии пестицидов на повышенную биоту. Это произойдет в будущем, когда будет накоплен и систематизирован большой объем результатов научных исследований. Вместе с тем уже сейчас можно отметить некоторые общие закономерности действия пестицидов. В целом из всех систематических групп микроорганизмов наиболее сильно угнетаются грибы. Отдельные виды родов *Penicillium*, *Fusarium*, *Humicola*, *Rhizoclonia*, *Phylidium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Trichoderma* подавлялись в наибольшей степени. Из бактерий наиболее устойчивы к пестицидам псевдомонады, флавобактерии и агробактерии. После обработки почвы пестицидами отмечено также явление перераспределения видового состава выделяемых микроорганизмов. Так, ежегодное внесение в почву гербицида симазина изменяло видовой состав актиномицетов рода *Streptomyces* сторону появления новых доминантов, снижался индекс видового разнообразия. Наиболее наглядно влияние препарата было выражено на протяжении первого месяца после внесения. Ежегодное в течение 3 лет внесение гербицида прометрина вызывало перегруппировку в составе высеваемых микроорганизмов в пользу культур, способных расти при дефи-

ците органического вещества.

7.3. Биопрепараты на основе симбиотических и ассоциативных микроорганизмов

Биопрепараты группы «Экстрасол». Эта группа биопрепаратов на основе ассоциативных микроорганизмов комплексного действия создана недавно, но уже хорошо зарекомендовала себя в России и за рубежом на широком спектре культур. Микроорганизмы, являющиеся основой этих биопрепаратов, тесно взаимодействуют с растениями (образуя «ассоциативный симбиоз») и способны выполнять ряд функций, полезных для растений:

- усиливать фиксацию атмосферного азота на корнях растения, заменяя при этом 30-50 кг/га минеральных азотных удобрений;
- стимулировать рост и развитие растений за счёт продуцирования физиологически активных веществ (ускоряя созревание продукции на 10-15 дней);
- подавлять развитие фитопатогенных микроорганизмов, обеспечивая снижение поражаемости растений болезнями в 1,5 – 10 раз, улучшая при этом фитосанитарную обстановку в почве;
- усиливать устойчивость растений к неблагоприятным условиям (засуха, заморозки, пониженные или повышенные температуры, повышенное содержание солей, неблагоприятная реакция почвенного раствора);
- повышать коэффициенты использования минеральных удобрений и питательных веществ из почвы;
- регулировать накопление в растениях тяжёлых металлов, радионуклидов, нитратов и других вредных соединений.

Перечисленные ниже биопрепараты имеют сходные функции и часто обладают широким спектром действия, что объясняется близкими по происхождению источниками их выделения (ризосфера, гистосфера или ризоплана растений) и их селекцией по однородным признакам (ростстимуляция, антифунгальная активность, азотфиксирующая активность и др.). В то же время каждый из них имеет свои особенности и определённый спектр действия.

Агрофил– биопрепарат, созданный на основе штамма *Agrobacterium radiobacter* -10 для овощных культур открытого и закрытого грунта. Применение агрофила в овощеводстве обеспечивает прибавку урожайности на 10-20%, ускоряет созревание урожая на 7-10 дней, гарантирует получение ранней продукции. Особенно эффективен препарат при выращивании рассады.

Агрофил повышает устойчивость растений к экологическим стрессам, снижает поступление тяжёлых металлов и радионуклидов в растения.

Особенности действия: наибольшая эффективность наблюдается в условиях закрытого грунта. Препарат эффективен в стрессовых условиях.

Флавобактерин- биопрепарат, созданный на основе штамма *Flavobacterium* sp.- 30. Повышает урожайность овощных культур (огурцы, томаты, перец, картофель, капуста, сахарная свёкла) на 3,0-10 т/га и улучшает качество продукции за счет увеличения содержания:

- * крахмала у картофеля - на 1,5-2%
- * сахаров в томатах - на 2,5%

Отмечено также существенное повышение содержания витаминов, каротина и других полезных веществ в овощной продукции.

Флавобактерин обладает значительным биозащитным эффектом, снижая в несколько раз заболеваемость корневыми гнилями, фитофторозом, паршой, антракнозом и другими заболеваниями.

Особенности действия: наибольшая эффективность наблюдается в условиях повышенного инфекционного фона. Из культуральной жидкости препарата выделен антибиотик с

уникально широким спектром действия («Флавоцин»). Препарат эффективен практически на всех культурах.

Мизорин - биопрепарат созданный на основе штамма *Arthrobacter mysorens* – 7. Увеличивает продуктивность кормовых культур, просо, сорго и картофеля. Значительно повышает эффективность ризоторфина на бобовых при их совместном применении. Обеспечивает повышение урожайности зеленой массы кормовых трав на 2 – 4 т/га, картофеля – на 4 – 7 т/га. Увеличивает содержание переваримого протеина в кормах на 1-3%, улучшая при этом аминокислотный состав белка. Мизорин выгодно отличается от остальных биопрепаратов устойчивостью к недостатку влаги в почве. При этом он может давать хороший эффект в неорошаемых условиях на ряде овощных культур. Оказывает положительное влияние на содержание витамина С (повышая его на 30-50%).

Мизорин повышает устойчивость растений к экологическим стрессам, снижает поступление тяжёлых металлов и радионуклидов в растения, активизирует симбиоз бобовых культур.

Экстрасол– биопрепарат созданный на основе штамма *Pseudomonas fluorescens*. Обеспечивает повышение урожайности овощных культур на 4,0-8,0 т/га. Препарат способствует интенсивному поступлению элементов минерального питания в растения, синтезирует ростовые и другие биологически активные вещества и образует соединения, снижающие активность фитопатогенных микроорганизмов. Установлена хорошая его результативность при ранних посадках картофеля даже в холодную почву, особенно для ранних и среднеранних сортов.

Особенности действия: экстрасол сочетает в себе функции ростстимуляции и биоконтроля. Эффективен в различных почвенно-климатических зонах. Повышает продуктивность технических культур на 15-25%, овощных культур – на 18-40%. Эффективен на винограде и табаке. Повышает сроки хранения продукции.

Ризоагрин- биопрепарат, созданный на основе штамма *Agrobacterium radiobacter* – 204. Обеспечивает повышение урожая зерновых культур на 0,3 - 0,8 т/га (озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ячменя). Повышает содержание протеина в зерне на 0,5-1,0%. Усиливает устойчивость растений к засухе и критическим температурам.

Особенности действия: ризоагрин наиболее эффективный и стабильный биопрепарат для большинства зерновых культур. Улучшает хлебопекарные качества пшеницы. Повышает устойчивость к стрессам.

Бактосан — бактериальный препарат, созданный на основе коллекционного штамма *Bacillus subtilis*. Повышает урожайность, улучшает качество продукции и защищает от болезней столовые клубне - и корнеплоды, овощные, зеленные культуры (картофель, морковь, свекла, капуста, лук, укроп, петрушка и др.).

Азоризин — бактериальный препарат, созданный на основе коллекционного штамма *Azospirillum lipoferum*. Повышает урожайность, улучшает качество продукции и защищает от болезней зерновые и овощные культуры (ячмень, овес, просо, гречиха, капуста, морковь, свекла, редис, огурец, томаты, перец, кабачки, кормовые травы).

Особенности действия: существенно повышает фиксацию атмосферного азота (до 50 – 70 кг/га). Наиболее активно связывает тяжёлые металлы и радионуклиды, снижая их поступление в растения. Эффективен на слабокислых и нейтральных почвах при хорошем уровне увлажнения.

Все препараты группы "Экстрасол" готовятся на основе стерильного торфа или жидкой питательной среды. Титр ризосферных бактерий в зависимости от штамма — 5...10 млрд. шт. в каждом грамме, который сохраняется на данном уровне в течение гарантийного срока годности — 6...12 месяцев. Препараты группы "Экстрасол" фасуются в упаковку (полиэтиленовые пакеты и емкости) по 300 г или 600 г. Рекомендуемая (оптимальная) доза расхода препаратов группы "Экстрасол" — 300 г препарата на гектарную норму высева (посадки) семян овощных и зеленных культур, многолетних трав, масличных, 600 г — зерновых и зернобобовых культур, 3000 г — столовых клубнеплодов.

Механизм действия препаратов группы "Экстрасол": ризосферные бактерии не образуют видимых глазу клубеньков, но, заселяя прикорневую зону растений (ризосферу) и поверхность корней, вытесняют болезнетворных бактерий, лишая их пространства и пищи; выделяют ростстимулирующие вещества и витамины; продуцируют антибиотики против грибной инфекции, дополнительно питают растения водой, азотом, фосфором, калием и другим элементами питания, переводя их из труднодоступных форм.

Биопрепараты обладают широким спектром действия, но наибольшую эффективность они проявили на овощных и кормовых культурах. Кроме того, их использование позволяет снизить нормы минеральных азотных удобрений на 40-50 кг, и снижают накопление нитратов и нитритов в продукции. Применение биопрепаратов способствует улучшению качества продукции за счёт повышения содержания протеина, сахаров, витаминов и других полезных компонентов.

Биопрепараты на основе ризосферных микроорганизмов комплексного действия.

Ризоторфин – предназначен для обработки семян бобовых культур. Действующее начало - клубеньковые бактерии (рода *Rhizobium*), образующие на корнях растений клубеньки и индуцирующие процесс фиксации молекулярного азота из воздуха. Агрономическая эффективность ризоторфина для бобовых культур составляет в среднем 10-30%, дополнительный сбор белка - 2-5 ц /га. При интродукции новых бобовых культур (козлятник, люцерна, люпин) эффективность бактеризации может составлять 50-100%, а повышение сбора протеина достигает 2-3 раз.

Для каждого вида бобовых культур производится определённый вид препарата (с использованием специфичных именно для этой культуры микроорганизмов). Окупаемость применения ризоторфина варьирует от 4 до 150 единиц на единицу затрат. Следует учесть также благоприятное влияние бактеризации растений на почвенное плодородие и экологическую обстановку (так как вовлекаемый в агроэкосистемы биологически фиксированный азот является в известной мере альтернативой минеральным азотным удобрениям).

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под биологической активностью почв?
2. Кратко охарактеризуйте влияние пестицидов на микробиологическую активность.
3. Дайте краткую характеристику ассоциативным diaзотрофам.
4. Охарактеризуйте симбиотические биопрепараты.
5. Кратко охарактеризуйте влияние биопрепаратов на ростовые процессы и продуктивность растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агафонов, Е.В. Роль бактериальных и минеральных удобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных культур на черноземе обыкновенном // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. - №1. – С.4-37.
2. Андреюк, Е.И. Почвенные микроорганизмы и интенсивное земледелие. – М., 1977. – 68 с.
3. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
4. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и техника, 1983. – 181 с.
5. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.

РЕГУЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ И ОРГАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В почвах с неблагоприятными свойствами (кислая реакция, тяжелый гранулометрический состав, низкое содержание гумуса, избыток или недостаток влаги и т. д.) активность микрофлоры снижается, что, конечно, отражается на ее плодородии. Однако имеется целый ряд агротехнических приемов, применяемых при возделывании культур, которые оказывают сильное влияние на микробиологические процессы, протекающие в почве и тем самым способны улучшить питание растений и почвенное плодородие. Установление факторов, которые влияют на активность, численность и развитие полезных микроорганизмов, позволит на практике применять приемы, усиливающие позитивное воздействие микрофлоры на почвенное плодородие. Однако для этого необходимо знать и учитывать все условия, способствующие развитию таких микроорганизмов в почве, и, кроме того, иметь возможность использовать микроорганизмы, обладающие высокой активностью. Только в этом случае появится возможность регулирования микробиологических процессов в почве. Решение данной проблемы связано с большими трудностями, поскольку условия в почве сильно различаются, на почвенную биоту одновременно действуют несколько взаимоисключающих факторов, микроорганизмы бывают различны по составу и взаимоотношениям.

Для изменения состава микрофлоры и повышения численности полезных микроорганизмов используются бактериальные, органические и минеральные удобрения, ингибиторы, чередование культур, биологически активные вещества и т. д.

8.1. Регулирование процессов нитрификации, денитрификации и иммобилизации.

Среди всех элементов питания азот в почве подвержен микробиологической трансформации в наибольшей степени и потери его достигают существенных величин. Темпы его накопления в почве и масштабы потерь в большой степени зависят от интенсивности биологических процессов.

Для снижения непроизводительных потерь азота в сельскохозяйственной практике применяют различные ингибиторы нитрификации, подавляющие активность нитрифицирующих бактерий. В результате этого в почве не происходит накопления нитратов и замедляется процесс денитрификации. В некоторых странах налажено производство ингибиторов, которые при внесении совместно с минеральными удобрениями снижают газообразные потери азота из почвы и повышают эффективность внесенных азотных удобрений. Применение ингибиторов нитрификации и денитрификации — прием, позволяющий сохранить азот в почвах с сильно выраженной нитрификационной активностью и искусственно регулировать биологическую иммобилизацию его путем внесения органических удобрений или их компостов с другими веществами. Ингибировать или стимулировать процессы нитрификации также могут некоторые гербициды.

При регулировании процессов превращения азота особое внимание надо уделять вопросам, связанным с продолжительностью и интенсивностью иммобилизации питательных веществ. Иммобилизация весьма желательна при борьбе с потерями усвояемого азота и вредна, когда она вызывает снижение содержания доступных питательных веществ в течение вегетации растений, предъявляющих высокие требования к питательному режиму. Изучение интенсивности и продолжительности иммобилизации азота после внесения азотных удобрений (аммиачной селитры и карбамида) отдельно или на фоне фосфора на почвах Болгарии показали, что этот процесс протекает довольно интенсивно. Поэтому в условиях теплого и влажного климата необходимо принимать меры по сокращению срока иммобилизации. Для этого нужно ускорять процессы минерализации путем увеличения

численности аммонифицирующих бактерий. В этом случае происходит минерализация иммобилизованного азота, который в усвояемом виде находится в почве и улучшает азотное питание растений.

При недостатке тепла, избыточном увлажнении и в других неблагоприятных условиях, наоборот, требуется осуществление мер, усиливающих нитрификацию (внесение навоза, чистые пары, биологические препараты).

Для изучения способов регулирования процесса иммобилизации путем снижения его продолжительности на отдельных почвах Болгарии были проведены вегетационные опыты с пшеницей, кукурузой и клевером луговым. Полученные результаты показали, что на карбонатном черноземе, характеризующемся высокой биологической иммобилизацией азота, при одновременном внесении с минеральными удобрениями соломы урожайность зерна кукурузы была на 45% ниже, чем в варианте без соломы. При таких же условиях на серой лесной почве урожай снизился на 22% и на псевдоподзолистой коричневой – на 15%. Следовательно, биологическая иммобилизация азота резко снижала урожай, особенно на почвах, где этот процесс ярко выражен.

Регулирование биологической иммобилизации – очень важный прием, связанный с повышением эффективности внесенных минеральных удобрений. Одним из путей решения этого вопроса является повышение активности микрофлоры, связанной с минерализацией иммобилизованных питательных веществ в почве.

Вегетационными опытами со стимуляторами роста, повышающими биологическую активность почвы, (гетероауксин, гиббереллин и азотобактерин) было установлено, что урожайность кукурузы возрастала при использовании гетероауксина и гиббереллина.

Для снижения продолжительности биологической иммобилизации питательных веществ путем ускорения процессов минерализации предложено использование также сточных вод заводов по производству кормовых дрожжей и антибиотиков. В вегетационных опытах на варианте "сточные воды + солома", было отмечено ускорение иммобилизации и урожайность кукурузы при этом возросла на 58%, пшеницы — на 17%. Под действием сточных вод увеличивалась численность микроорганизмов в почве.

Урожайность кукурузы и пшеницы также возрастала при использовании сточных вод заводов по производству антибиотиков. В вариантах опытов с добавлением соломы, где в результате иммобилизации азота урожай кукурузы снизился на 45%, при добавлении сточных вод он увеличился на 16%. Сильное снижение урожая получено в вариантах с внесением соломы, особенно на почвах с высокой иммобилизационной способностью.

Приведенные примеры показывают, что существует определенная возможность регулирования биологической иммобилизации. В настоящее время разработаны более совершенные приемы, способствующие активации жизнедеятельности микроорганизмов. В почвах с высокой и продолжительной иммобилизацией регуляция этого процесса может быть достигнута использованием навоза, растительных остатков с высоким содержанием азота (высокая концентрация бобовых в севооборотах), биологических стимуляторов, отходов промышленности, содержащих азот или ростовые вещества, бактериального удобрения азотогена и т. д. Регуляция продолжительности иммобилизации азота повысит эффективность азотных минеральных удобрений.

В осенний период, когда на почве отсутствует растительный покров и потребность культурных растений в усвояемых питательных веществах низкая, активизация микрофлоры, совершающей иммобилизацию, является необходимым приемом, предохраняющим усвояемые соединения азота от вымывания. Внесение соломы или заплата растительных остатков, бедных азотом, позволяет сохранить усвояемый азот от вымывания и газообразных потерь.

8.2. Переложные системы земледелия.

Сельскохозяйственная система, известная как *сменная*, или *переложная*, по-видимому,

является одной из первых в человеческой цивилизации. Она может быть одним из наиболее характерных примеров системы органического земледелия. Эта система использовалась на протяжении столетий практически на всех континентах земного шара и до сих пор применяется в некоторых тропических регионах. Она включает очистку площади леса или саванны путем сжигания растительности и выращивание в течение нескольких лет сельскохозяйственных культур на образовавшихся полях. После этого земли оставляют для восстановления естественной растительности. За период выращивания сельскохозяйственных культур плодородие почвы снижается, а затем постепенно возрастает под естественной растительностью в течение намного большего периода времени. Постоянный рост численности населения и продолжительности непрерывной эксплуатации земель привели к разрушению этой системы во многих регионах земного шара с образованием бесплодных и эродированных почв.

8.3. Органическая система земледелия.

Начиная с 60-70 гг. XX в. стали выдвигаться различные формы т.н. органического или альтернативного земледелия: экологическое, биодинамическое, биологическое и т.п. Они предполагали полный или почти полный отказ от промышленных удобрений и химических средств защиты растений. В качестве наиболее убедительного аргумента для населения выдвигалась опасность отравления остатками пестицидов или нитратами, содержащимися в растениеводческой продукции. При этом умышленно умалчивалось то обстоятельство, что в альтернативной продукции могут и успешно накапливаться природные токсины и канцерогены, содержание которых может превышать те пестицидные остатки, которые накапливаются в урожае сельскохозяйственных культур.

Однако, до настоящего времени масштабы использования альтернативного земледелия невелики и его доля в разных странах не превышает одного процента от общего количества фермерских хозяйств. В ряде стран Западной Европы оно получило название «интегрированное сельское хозяйство», в Швейцарии и Франции – «сельское хозяйство, близкое к природе», в Германии – «упорядоченное сельское хозяйство», в США – «низкозатратное ведение хозяйства» («low-input»).

Причина слабого распространения альтернативного земледелия – низкие урожаи. Дело в том, что отказ от применения пестицидов и удобрений требует альтернативных решений. В частности, сокращение применения пестицидов возможно по мере создания сортов, устойчивых к вредным организмам, отказ от удобрений – создание новых штаммов азотфиксирующих организмов и регулирования процессов азотфиксации в почвах. Создание экологически безопасных химических и биологических препаратов нового поколения (на основе природных соединений) и т.д.

Разрешение этих проблем под силу только высокоразвитым странам, обладающим наукоемкими технологиями производства в важнейших сферах экономики. В странах с низким уровнем развития производства переход на органическое или альтернативное земледелие неизбежно приведет к резкому спаду производства сельскохозяйственной продукции.

Ограничивающим урожайность фактором в системах органического земледелия обычно является азот, поэтому для восполнения его дефицита можно предложить выращивать бобово-злаковые смеси, чтобы использовать фиксацию N_2 из атмосферы бактериями *Rhizobium*.

Когда поле оставляют под паром, в процессе минерализации органического вещества почвы и пожнивно-корневых остатков выделяется больше нитратов, чем требуется для сельскохозяйственных культур в осенний период, и большое их количество может теряться из-за вымывания зимой. Следующей весной по мере нарастания температуры почвы скорость минерализации увеличивается, что совпадает по фазе с повышением потребностей сельскохозяйственных культур. Однако минерализация может не произойти к тому

времени, когда это необходимо для удовлетворения потребностей растений и достижения максимальной урожайности зерновых культур. В этом случае необходимо применять комплекс мер, усиливающих минерализацию, о которых говорилось выше.

Обсуждение относительных достоинств и недостатков так называемых систем органического и неорганического земледелия включает многие вопросы, которые выходят за рамки почвоведения как науки. Почти не вызывает сомнений тот факт, что естественное плодородие почвы, как правило, лучше поддерживается в системах органического земледелия. Это, однако, не означает, что применение удобрений неприемлемо. С научной точки зрения разумнее применять системы, которые для поддержания почвы в хорошем состоянии, предполагают одновременно использовать и оптимальные, экологически обоснованные дозы минеральных удобрений. Примером такого рационального подхода может служить опыт в Ротамстеде (Англия), где более полутора веков хорошая обработка угодий при непрерывном возделывании сельскохозяйственных культур с удобрениями является приемлемой производственной системой. На почвах, физические свойства которых оставляют желать лучшего, севообороты необходимо сочетать с применением удобрений, чтобы поддерживать почвы в хорошем состоянии и получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под органическим земледелием?
2. Требования к органической системе земледелия.
3. Дайте краткую характеристику биодинамическим удобрениям.
4. Охарактеризуйте переложную систему земледелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский. – М.: Колос, 1984. – 287 с.
2. Дыхание почвы / Г.А. Заварзин - Пушкино, 1993. - 144 с. ISBN 5-201-10580-7.
3. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
4. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и техника, 1983. – 181 с.
5. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.
6. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева – М.: Дрофа, 2004. – 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И КРУГОВОРОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

9.1. Круговорот азота

Круговорот биогеохимический - это перемещения и превращения химических элементов через косную и органическую природу при активном участии живого вещества. Химические элементы циркулируют в биосфере по различным путям биологического круговорота: поглощаются живым веществом и заряжаются энергией, затем покидают живое вещество, отдавая накопленную энергию во внешнюю среду. Такие в большей или меньшей степени замкнутые пути были названы В.И. Вернадским "биогеохимическими циклами". Эти циклы можно подразделить на два основных типа: 1) круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере (океан) и 2) осадочный цикл с резервным фондом в земной коре. Во всех биогеохимических циклах активную роль играет живое вещество. По этому поводу В.И. Вернадский (1965, с. 127) писал: "Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, действенная его энергия огромна. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила, растущая с ходом времени". К главным циклам можно отнести круговороты углерода, кислорода, азота, фосфора, серы и биогенных катионов.

Нормальные биогеохимические циклы не являются замкнутыми, хотя степень обратимости годовых циклов важнейших биогенных элементов достигает 95—98 %. Неполная обратимость (незамкнутость) — одно из важнейших свойств биогеохимических циклов, имеющая планетарное значение. Именно это обусловило биогенное накопление кислорода и азота в атмосфере, различных химических элементов и соединений в земной коре. Например, за счет неполной обратимости цикла углерода в течение последних 600 млн. лет накопились огромные запасы углеродистых отложений (известняков, битумов, углей, нефти и т.д.), оцениваемые в 1016—1017 т.

В глобальном биогеохимическом цикле азота ведущая роль принадлежит массообмену между педосферой и атмосферой, поскольку протекающие в почвенном покрове процессы обеспечивают образование основных количеств доступных для растений форм азота. Связывание молекулярного азота осуществляется микроорганизмами, свободно обитающими или симбиотичными с некоторыми видами растений (в их числе - все представители семейства бобовых, ольха и др.). Эти бактерии, а также сине-зеленые водоросли, симбиотически связанные с грибами лишайников или с некоторыми видами папоротников, содержат в клетках фермент нитрогеназу, в состав которого входят атомы молибдена и железа.

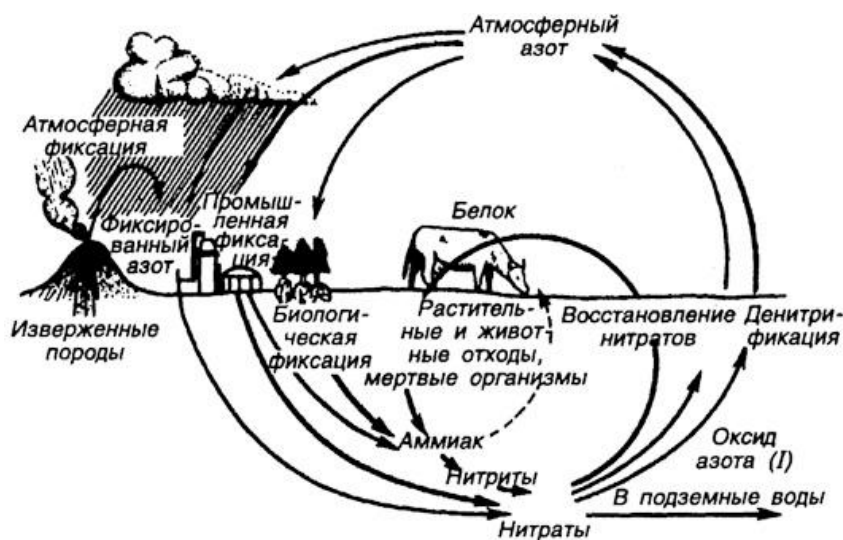
Из-за высочайшей активности биогеохимических процессов и колоссальных объемов и масштабов оборота веществ биологически значимые химические элементы находятся в постоянном циклическом движении. По некоторым подсчетам, если принять, что биосфера существует не менее чем 3,5—4 млрд. лет, то вся вода Мирового океана прошла через биогеохимический цикл не менее 300 раз, а свободный кислород атмосферы — не менее 1 млн. раз. Круговорот углерода происходит за 8 лет, азота за 110 лет, кислорода за 2500 лет. Основная масса углерода, сосредоточенная в карбонатных отложениях дна океана ($1,3 \times 10^{16}$ т), других кристаллических горных породах (1×10^{16} т), каменном угле и нефти ($0,34 \times 10^{16}$ т), участвует в большом круговороте. Углерод, содержащийся в растительных (5×10^9 т) и животных тканях (5×10^9 т), участвует в малом круговороте (биогеохимическом цикле).

Совокупности популяций различных видов в экосистемах создают устойчивые биогеохимические циклы, благодаря которым поддерживается постоянство современных сред жизни - почвенной, наземной и водной. Экосистемы способны к саморегуляции, восстановлению равновесия численности популяций многих видов, взаимодействующих между собой в биоценозах. Особое значение для гомеостаза экосистем имеют трофические от-

ношения между видами. В природе закономерно сочетаются численности видов, представляющих основные экологические группы организмов: продуцентов (растений), консументов (животных) и редуцентов (бактерий и грибов). Чем более разнообразными видами представлена каждая группа, тем устойчивее экосистема в целом, благодаря взаимозаменяемости видов. В биогеоценозах многообразие биологических видов поддерживает устойчивые круговороты биогенов, химических элементов, входящих в состав живых организмов (кислорода, углерода, водорода, азота, фосфора, кальция, серы и др.), благодаря которым осуществляется усвоение и трансформация солнечной энергии в биосфере, получение ресурсов и переработка отходов.

Часть биологического круговорота, состоящая из круговоротов углерода, воды, азота, фосфора, серы и других биогенных веществ, называют биогеохимическим круговоротом.

Движение азота представляет собой достаточно сложный и отличительный от круговорота других биогенов процесс, так как включает в себя газообразную и минеральную фазу. Атмосфера содержит 78% азота (N_2). При всей огромной значимости азота для жизнедеятельности живых организмов они не могут непосредственно потреблять этот газ из атмосферы. Растения усваивают ионы аммония (NH_4^+) или нитрата (NO_3^-).



Круговорот азота в биосфере

Для того чтобы азот преобразовался в эти формы, необходимо участие некоторых бактерий или сине-зеленых водорослей (цианобактерий). Процесс превращения газообразного азота (N_2) в аммонийную форму носит название азотфиксации. Важнейшую роль среди азотфиксирующих микроорганизмов играют бактерии из рода *Rhizobium*, которые образуют симбиотические связи с бобовыми растениями. Среди последних наибольшее значение имеют клевер и люцерна. Азотфиксирующие бактерии, создавая форму азота, которая усваивается растениями, за счет симбиотического взаимодействия позволяют накапливаться азоту в наземных и подземных частях растений; к примеру за год на одном гектаре клевера или люцерны накапливается от 150 до 400 кг азота. Сами азотфиксирующие микроорганизмы, среди которых есть виды, синтезирующие сложные протеины, отмирая, обогащают почву органическим азотом. При этом за год в почву поступает около 25 кг азота на 1 га (И.А. Шилов, 2000).

В природе есть также микроорганизмы, которые обладают симбиотическими связями не только с бобовыми, но и с другими растениями. В водной среде и на переувлажненных почвах азотфиксацию осуществляют сине-зеленые водоросли (способные одновременно и к фотосинтезу). В любом из описанных случаев азот потребляется либо в виде нитратов, либо в аммонийной форме.

Азот после потребления его растениями участвует в синтезе протеинов, которые, сосредоточиваясь в листьях растений, затем обеспечивают азотное питание фитофагов.

Мертвые организмы и отходы жизнедеятельности (экскременты) являются средой обитания и служат пищей для сапрофагов, которые, как мы уже отмечали выше, постепенно разлагают органические азотсодержащие соединения до неорганических. По И.А. Шилову (2000, с. 50-51), конечным звеном в этой цепи оказываются аммонифицирующие организмы, образующие аммиак (NH_3), который, кстати, может быть вовлечен в цикл нитрификации. *Nitrosomonas* окисляют аммиак в нитриты, а *Nitrobacter* окисляют нитриты в нитраты и таким образом круговорот азота может быть продолжен. Параллельно с описанными процессами происходит постоянное возвращение азота в атмосферу за счет деятельности бактерий - денитрификаторов, способных разлагать нитраты и в азот (N_2). Эти бактерии, как правило, имеют широкое распространение в плодородных почвах там, где много азота и углерода. Эти бактерии за год с 1 га поверхности почвы выделяют в атмосферу до 50-60 кг азота (рис. 54).

Кроме указанных процессов азотфиксации в природной среде возможно образование оксидов азота при электрических грозовых разрядах. Эти оксиды затем в виде селитры или азотной кислоты при смешивании с атмосферными осадками попадают в почву (при разрядах молний фиксируется от 4 до 10 кг азота на 1 га). Имеет место и фотохимическая фиксация азота.

Возможно выключение азота из круговоротных процессов путем аккумуляции его соединений в глубоководных океанических осадках, что компенсируется, правда, частичным выделением азота (N_2) при вулканических извержениях.

Азот имеет газообразный резервный фонд, который находится в атмосфере. Между резервным и обменным фондами постоянно осуществляется обмен элементов и обеспечивается непрерывная связь

Из резервного фонда азот включается в обменный фонд тремя путями:

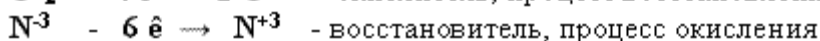
1. **Атмосферная фиксация.** Под действием атмосферных электрических разрядов часть азота взаимодействует с кислородом с образованием оксида и диоксида азота, которые растворяются в водяных парах и в виде азотистой и азотной кислот попадают в почву. В почве образуются нитраты, которые поглощаются растениями и включаются в биологический круговорот.

2. **Биологическая фиксация.** В основном азот из резервного фонда вовлекается в обменный фонд азотфиксирующими бактериями, которые переводят его в доступные для растений формы.

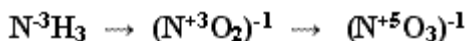
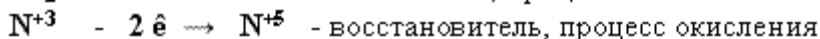
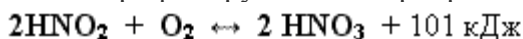
3. **Промышленная фиксация.** С наступлением промышленной революции человек научился с помощью техники превращать газообразный азот в минеральные азотные удобрения, которые после внесения в почву усваиваются растениями в аммиачной и нитратной форме.

Пополнение резервного фонда из обменного фонда происходит путем денитрификации, которую осуществляют денитрифицирующие бактерии. Часть азота из обменного фонда смывается с поверхностным стоком в море, где он включается в морские организмы или мелководные отложения. Часть его через живые организмы возвращается в биологический круговорот, а часть переходит в глубоководные отложения - это полные и окончательные потери элемента.

После наступления техногенной эры сельское хозяйство стало широко использовать технику для обработки почвы, а это привело к усилению поверхностного стока и увеличению выноса азота. За счет улучшения аэрации усилился процесс денитрификации. В то же время, за последние 100 лет биологическая фиксация снизилась в 20-30 раз. Все это привело к обеднению обменного фонда и для его пополнения человек вынужден вносить минеральные удобрения или на больших площадях выращивать азотфиксирующие бобовые растения. Однако примерно 1/10 часть искусственно внесенного азота используется растениями, а остальная часть с поверхностным стоком и грунтовыми водами переходит в морские отложения. При этом имеет место эвтрофикация пресноводных экосистем, что ведет к их деградации.



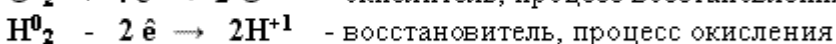
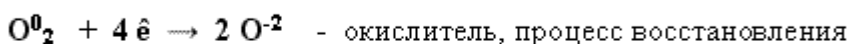
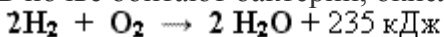
Дальнейшее окисление образовавшейся азотистой кислоты осуществляется другой группой нитрифицирующих микроорганизмов - Nitrobacter - нитробактером:



Энергетический эффект реакций окисления аммиака до азотной кислоты равен 763 кДж.

Процесс нитрификации происходит в почве в огромных масштабах и служит для растений источником нитратов. Жизнедеятельность бактерий представляет собой один из важнейших факторов плодородия почв.

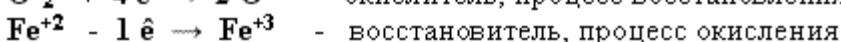
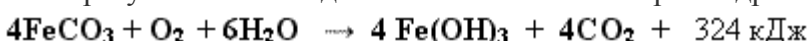
В почве обитают бактерии, окисляющие водород:



Энергетический эффект реакций окисления водорода равен 235 кДж.

Водородные бактерии окисляют водород, постоянно образующийся при анаэробном (бескислородном) разложении различных органических остатков микроорганизмами почвы.

Хемосинтезирующие бактерии, окисляющие соединения железа и марганца, обитают как в пресных, так и в морских водоемах. Благодаря их жизнедеятельности на дне болот и морей образуется огромное количество отложенных руд железа и марганца. Академик В.И. Вернадский - основатель биогеохимии говорил о залежах железных и марганцевых руд как о результате жизнедеятельности этих бактерий в древние геологические периоды.



Энергетический эффект реакций окисления железа (II) в железо (III) равен 324 кДж.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется биогеохимическим круговоротом?
2. Что называется геохимическими циклами?
3. Дайте краткую характеристику замкнутым и незамкнутым циклам.
4. Отличительные черты круговорота азота.
5. Связь резервного и обменного фондов.
6. Хемосинтез.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Барабанов, В.Ф. Геохимия. – Л.: Недра, 1985.
2. Гаврусевич, Б.А. Основы общей геохимии. – М.: Недра, 1968.
3. Добровольская, М.Г. Геохимия земной коры. – М.: Изд-во РУДН, 2001.
4. Добровольский, В.В. Химия Земли. – М.: Просвещение, 1988.
5. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 2002.
6. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005.

Дополнительная

1. Сауков, А.А. Геохимия. – М.: Наука, 1975.
2. Щербина, В.В. Основы геохимии. – М.: Недра, 1972.
3. Ферсман, А.Е. Занимательная геохимия. – Изд-во АН СССР, 1959.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И КРУГОВОРОТ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА И КАЛИЯ

10.1. Круговорот и превращения соединений фосфора

Возникновение на Земле живой материи обусловило возможность непрерывной циркуляции в биосфере химических элементов, перехода их из внешней среды в организмы и обратно. Эта циркуляция химических элементов и получила название биогеохимических круговоротов. Биогеохимический круговорот представляет собой часть биотического круговорота, включающую обменные циклы химических элементов абиотического происхождения, без которых не может существовать живое вещество (углерод, кислород, водород, азот, фосфор, сера и многие другие). Обычно выделяют три основных типа биогеохимических круговоротов: круговорот воды, круговороты газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере (океан), осадочные циклы химических элементов с резервным фондом в земной коре.

Особенно активно изучают роль фосфора, который необходим живым организмам в достаточно больших объемах — около 10% от количества азота.

Фосфор содержится в земной коре и живых организмах в небольших количествах; тем не менее, он имеет очень большое значение для растений и животных. Без этого элемента невозможен синтез белков. Кроме того, фосфор входит в состав костей и зубов. Именно недостаточное количество фосфора чаще всего ограничивает рост массы живого вещества. Значительная часть фосфора содержится в почвах. Фосфор образует многочисленные минералы (например, фосфориты), однако они не часто встречаются в горных породах в больших количествах. В атмосфере фосфор практически отсутствует.

В природных водах фосфор присутствует в составе органических соединений и взвешенных твердых частиц. Лишь небольшая его часть находится в растворе в виде ортофосфат-иона PO_4^{3-} и гидроортофосфат-иона HPO_4^{2-} .

В океане «органический» фосфор многократно переходит от одного живого организма к другому и медленно накапливается в донных отложениях в виде малорастворимых фосфатов. Эти потери фосфора компенсируются только из одного источника — выветривающихся горных пород суши, куда они попадают со дна океанов в результате длительных геологических процессов.

Деятельность человека нарушила природный круговорот фосфора. Соединения фосфора используются для производства удобрений и моющих средств. Это приводит к загрязнению водоемов соединениями фосфора. В таких условиях фосфор перестает быть элементом, ограничивающим рост массы живых существ, особенно водорослей и других водных растений.

Фосфор является одним из главных компонентов нуклеиновых кислот, клеточных мембран, систем переноса энергии, костных тканей. Фосфор имеет важное значение для производительности водных экосистем. Его недостаток в водной среде резко снижает производительность водных растений. Правда, в местах, куда поступает избыточное количество фосфорных соединений, в частности, детергентов, с полей, а также в составе сточных вод, производительность водоемов достигает нежелательных результатов, выраженных в интенсивной эвтрофикации вод озер, рек, водохранилищ, прудов и тому подобное.

Изучение круговорота фосфора облегчается тем, что его концентрацию и перемещения легко определить и проследить, используя один из изотопов как радиоактивную метку. Круговорот фосфора состоит из меньшего количества этапов, чем круговорот углерода или азота. Растения ассимилируют фосфор в виде фосфат-иона (PO_4) непосредственно из

почвы или воды. У животных (в случае избытка органического фосфора в кормах) фосфор выводится из организма вместе с мочой. Некоторые группы бактерий превращают органический фосфор в фосфат. Фосфор поступает в атмосферу в единой форме — в виде пыли. Учитывая это, в круговороте фосфора главная роль принадлежит только грунту и воде. Несмотря на относительную простоту круговорота фосфора, на доступность этого элемента для растений влияет много факторов природной среды. В частности, при избытке растворенного кислорода фосфор легко образует нерастворимые соединения, выпадающие в осадок и, таким образом, фосфор удаляется из форм, доступных для растений. В случае значительной продолжительности таких условиях образуются фосфатные породы. В активные формы фосфор возвращается очень медленно вследствие эрозии или искусственного использования (разработки) фосфатов для изготовления минеральных удобрений.

Кислотность среды также влияет на доступность фосфора растениям. Фосфаты натрия и кальция сравнительно слабо растворимы в воде. В щелочной среде фосфат-ионы легко соединяются с натрием и кальцием, образуя нерастворимые соединения. В кислой среде фосфат превращается в хорошо растворимый кислоту. Итак, каждый из органогенных элементов имеет свои особенности круговорота, а вместе они образуют малый или биотический круговорот элементов и веществ, одновременно пополняя и большой геологический круговорот.

Как считает Р. Риклефс (1979), «круговорот биогенных элементов в определенные периоды развития экосистемы выходят из равновесия и, или накапливаются в системе, или же, наоборот, оставляют ее. Так, в периоды угле- или торфонакопления мертвый органический материал аккумулируется в отложениях озер, прибрежных болотах и мелководных морях, где анаэробные условия препятствуют его расписания микроорганизмами».

Интенсивное распашка почв или уничтожение естественной растительности приводит к эрозии земель. Это вызывает разрушение богатых биогенные элементы верхних почвенных горизонтов, которые формировались на протяжении тысячелетий. В подавляющем большинстве случаев ландшафтные системы находятся в стационарном состоянии, когда отток биогенных элементов из систем уравнивается их притоком из других систем, из атмосферы и литосферы.

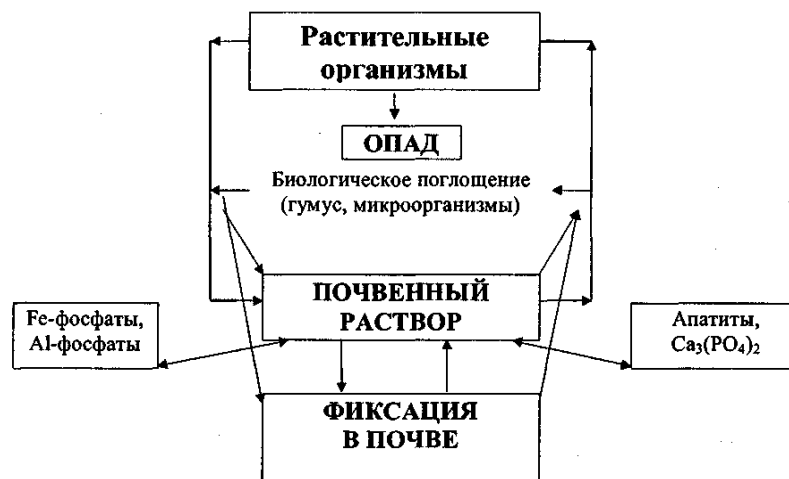
Итак, как отмечает П. Второв (1971), «Энергия Солнца движет своеобразным кругом плеяды химических элементов, которые то объединяются в грозди органических молекул, то рассыпаются снова в неорганические вещества, выделяя энергию для жизни многочисленных существ нашей планеты».

Кларк этого элемента в земной коре равен 0,093 %, что в несколько десятков раз больше кларка азота. Однако в отличие от последнего фосфор не играет роли одного из главных элементов оболочек Земли. Тем не менее, геохимический цикл фосфора включает разнообразные пути миграции в земной коре, интенсивный биологический круговорот и миграцию в гидросфере.

Фосфор — один из главных органогенных элементов. Его органические соединения играют важную роль в процессах жизнедеятельности всех растений и животных, входят в состав нуклеиновых кислот, сложных белков, фосфолипидов мембран, являются основой биоэнергетических процессов. Фосфор концентрируется живым веществом, где его содержание почти в 10 раз выше, чем в земной коре. На суше протекает интенсивный круговорот фосфора в системе почва—растения—животные—почва.

Круговорот фосфора в природе сильно отличается от биогеохимических циклов углерода, кислорода, азота и серы, так как газовая форма соединений фосфора (например, PH_3) практически не участвует в биогеохимическом цикле фосфора. Значение фосфора в жизни клетки и организмов очень велико: соединения фосфора входят в состав тканей мозга, скелета, панцирей. Поэтому главная роль в биогеохимическом цикле фосфора принадлежит живому веществу и таким процессам, как питание, размножение, передвижение. Для растений наиболее доступным является фосфор неспецифических органических соедине-

ний и гумуса, и именно он играет главную роль в малом (локальном) биологическом цикле фосфора.



10.2. Круговорот и превращения соединений калия

Калий вместе с другими щелочными и щелочно-земельными химическими элементами аккумулировался в земной коре в процессе ее выплавления. Калий входит в состав наиболее распространенных силикатов. При их разрушении этот элемент, в основном, переходит в глинистые минералы. В то же время он частично высвобождается и вовлекается в водную миграцию. Ионы калия активно абсорбируются дисперсным минеральным веществом, а также поглощаются высшими растениями, поэтому калий более прочно удерживается в пределах суши, чем кальций и натрий. В океан некоторое количество калия выносится в виде ионов, однако большая масса элемента переносится в форме взвесей глинистых частиц. Калий активно мигрирует в системе поверхность океана – атмосфера – поверхность океана в составе аэрозолей.

Этот элемент играет важную роль в жизни растений и животных. Он принимает участие в фотосинтезе, влияет на обмен веществ, частично сохраняется в мертвом органическом веществе.

Широкое использование минеральных удобрений пока не оказывает заметного влияние на круговорот калия, однако миграция его сильно возросла в результате эрозии почв.

Круговорот калия. Калий, как известно, принимает участие в процессах фотосинтеза, оказывает влияние на углеводный, азотный и фосфорный обмен, существенным образом сказывается на осмотических свойствах клеток. Он концентрируется в плодах и семенах, в интенсивно растущих тканях и органах растений.

Пока что малоизученным остается круговорот калия в водной среде. Каждый год с водным стоком в Мировой океан поступает около 90 млн. т этого элемента. Какая-то часть поглощается водными организмами, но значительное количество нигде не фиксируется, и последующее его перемещение неизвестно.

Важной составной частью круговоротов является ионный и твердый сток. Круговорот химических элементов проходит, как правило, сразу в нескольких сопредельных оболочках Земли (атмосфере и гидросфере, гидросфере и педосфере) либо во всех трех геосферах одновременно. Надежность и постоянство осуществления круговоротов обеспечиваются регулярным обменом веществ и энергией между геосферами. Такого рода направленная связь наглядно проявляется на примере ионного стока, представляющего собой процесс выноса реками с суши химических элементов в ионном растворенном состоянии в Мировой океан. Поступившие в ионной форме химические элементы, как и на суше, в водной среде подвергаются воздействию живых организмов, продолжая круговорот. Миграция

химических элементов в растворенном состоянии представляет собой гигантский планетарный процесс.

Твердое вещество поверхности Земли не остается неподвижным. Оно также участвует в миграции, перемещаясь поверхностными водами суши. Поверхностные воды наряду с элементами, мигрирующими в растворенном состоянии или с коллоидными частицами, переносят огромные массы обломков горных пород и минералов, называемые твердым стоком (по аналогии со стоком воды). Значительная часть твердого стока перемещается в пределах суши, но и объемы, попадающие в моря, достаточно велики. В Мировой океан с континентов поступает каждый год 22,13 млрд. т обломочного и глинистого материала, что примерно в 7 раз превышает количество выносимых растворенных веществ.

Кларк калия в земной коре составляет 2,89%. Суммарно в гранитной оболочке Земли, осадочной толще, океане и т.д. содержится $236,7 \times 10^{15}$ тонн. Большая часть калия в ходе гипергенной перестройки кристаллохимических структур силикатов остается в составе вторичных глинистых минералов, поэтому калий прочнее удерживается в пределах Мировой суши, чем кальций и натрий. И все же частичное высвобождение ионов калия происходит, и они активно вовлекаются в биологические круговороты. Обусловлено это тем, что калий играет важную роль в жизни живых организмов. Он принимает участие в фотосинтезе, влияет на углеводный и белковый обмены, усиливает образование Сахаров в листьях и передвижение их в другие органы. Кроме того, калий улучшает поступление воды в клетки растений и понижает процесс испарения, тем самым увеличивая устойчивость растений к засухе. Недостаток калия в почве приводит к значительному снижению урожайности растений. Именно поэтому кларк калия в живом веществе такой же высокий, как у азота: он составляет 0,3%. В сухом веществе некоторых видов растительных организмов содержание калия значительно выше. Так, много, калия накапливают морские водоросли (до 5,2%; Боуэн, 1966). В биологический круговорот на суше вовлекается ежегодно около $1,8 \times 10^9$ тонн (Добровольский, 1998). Освобождающаяся из системы биологического круговорота на суше масса калия частично задерживается в мертвом органическом веществе и сорбируется минеральной частью почвы, частично вовлекается в водную миграцию. Концентрация калия в мертвом органическом веществе колеблется в пределах 0,1-0,2%, т.е. часть калия, связанная в мертвом органическом веществе педосферы, составляет $(3-6) \times 10^9$ тонн. Ежегодно с континентальным водным стоком в океан поступает более 61×10^6 тонн калия в виде свободных ионов и 283×10^6 тонн - в составе взвесей.

Калий активно мигрирует в системе поверхность океана - атмосфера в составе аэрозоля: средняя концентрация элемента в океанических атмосферных осадках над океаном 0,15%. Концентрация калия в континентальных атмосферных осадках заметно выше, в среднем 0,7%. Значительное количество элемента переносится пылью с суши в океан: если принять концентрацию калия в пыли равной его концентрации в глинистых отложениях, то, по оценке В. В. Добровольского (1998), эта величина составит 43×10^6 тонн в год.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется биогеохимическим круговоротом?
2. Что называется геохимическими циклами?
3. Дайте краткую характеристику замкнутым и незамкнутым циклам.
4. Отличительные черты круговорота азота.
5. Связь резервного и обменного фондов.
6. Хемосинтез.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Барабанов, В.Ф. Геохимия. – Л.: Недра, 1985.
2. Гаврусевиц, Б.А. Основы общей геохимии. – М.: Недра, 1968.
3. Добровольская, М.Г. Геохимия земной коры. – М.: Изд-во РУДН, 2001.

4. Добровольский, В.В. Химия Земли. – М.: Просвещение, 1988.
5. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 2002.
6. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005.

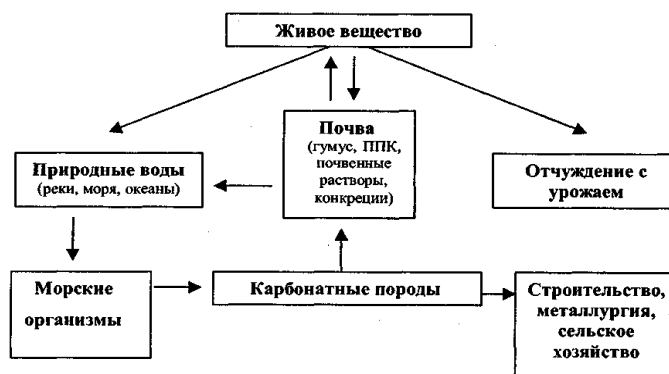
Дополнительная

1. Сауков, А.А. Геохимия. – М.: Наука, 1975.
2. Щербина, В.В. Основы геохимии. – М.: Недра, 1972.
3. Ферсман, А.Е. Занимательная геохимия. – Изд-во АН СССР, 1959.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И КРУГОВОРОТ СОЕДИНЕНИЙ КАЛЬЦИЯ И СЕРЫ

11.1. *Круговорот кальция*

Кларк кальция в литосфере составляет 2,96 %. Кальциевые силикаты неустойчивы в зоне гипергенеза и при выветривании горных пород разрушаются в первую очередь. Поэтому кальций активно вовлечен в процессы геологического круговорота веществ. Кальций обладает относительно высокой миграционной способностью, во многом определяемой особенностями климата. В гумидных условиях при активном развитии в почвах процесса выщелачивания он выносится в реки, озера, моря. Здесь кальций активно потребляется морскими организмами и накапливается после их отмирания в виде карбонатных отложений. В аридном и супераридном климате кальций выпадает из растворов в виде карбонатов, формируя мощные толщи карбонатных пород и иллювиально-карбонатные горизонты в почвах. Кальций играет важную роль в процессах почвообразования, он входит в состав почвенно-поглощающего комплекса, участвует в обменных реакциях почвенного раствора, обуславливая высокую буферную способность почв в кислом интервале среды. Гуматы кальция играют также важную роль в формировании структуры почвы, во многом обеспечивая ее водопрочность (Хан, 1969). Кроме того, кальций активно участвует в процессах осаждения полутвердых окислов, марганца, нередко образуя конкреционные образования совместно с этими элементами и кремнеземом. В почвах кислого ряда, характеризующихся значительным проявлением процесса выщелачивания, наблюдается явление биогенного накопления кальция в подстилке и аккумулятивных поверхностных горизонтах. Обусловлено это той важной ролью, которую выполняет кальций в растительных организмах. Он входит в группу элементов-биофилов (Ферсман, 1934), т.е. таких элементов, которые обязательно входят в состав живого вещества и без которых существование организмов невозможно. Поэтому кальций активно участвует в биологическом круговороте: на территории Европейской части СНГ растительным покровом вовлекается в биологический круговорот 12,8 млн. т кальция в год (Ивлев, 1986). Размеры вовлечения кальция в биологический круговорот очень сильно различаются в разных природных зонах. Так, лесостепной растительностью (широколиственной и травянистой) ежегодно потребляется, по данным Т. И. Евдокимовой с соавторами (1976), 100 кг/га кальция, а тундровой растительностью - только 8,6 кг/га. В наибольшем количестве он требуется разнотравно-типчаковой растительности степей. Подсчитано, что в доисторический период его потребление с приростом составляло 137 кг/га в год. Весь этот кальций возвращался в почву с растительным спадом, т.е. малый биологический круговорот кальция носил почти замкнутый характер. В настоящее время ситуация коренным образом изменилась, растительность полей выносит ежегодно только 30-50 кг/га кальция, но большая его часть отчуждается с урожаем



Но нарушение биогеохимического круговорота кальция в настоящее время происходит не только и не столько за счет отчуждения части его с сельскохозяйственной продукцией, но и за счет использования карбонатных пород в строительстве, сельском хозяйстве (известкование почв), металлургической промышленности.

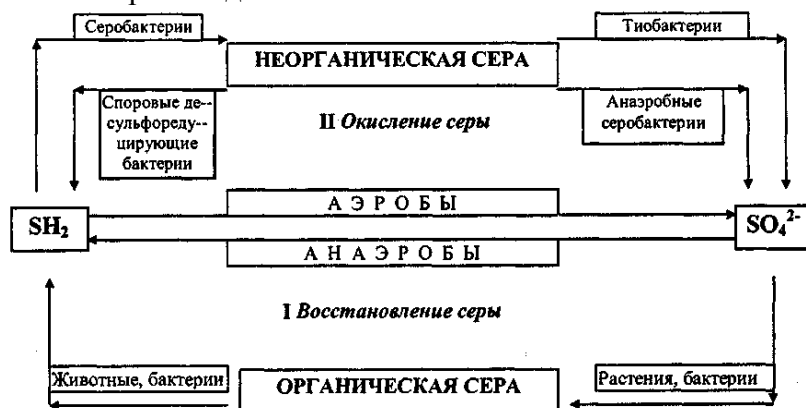
11.2. Круговорот серы

Сера является одним из элементов, играющих важную роль в круговороте веществ биосферы. Она определяет важные биохимические процессы живой клетки, является компонентом питания растений и микрофлоры. Соединения серы участвуют в формировании химического состава почв, в значительных количествах находятся в подземных водах, а это, в свою очередь, играет решающую роль в процессах засоления почв.

Сера также имеет основной резервный фонд в отложениях и почве, но в отличие от фосфора имеет резервный фонд и в атмосфере. В обменном фонде главная роль принадлежит микроорганизмам. Одни из них восстановители, другие – окислители. В горных породах сера встречается в виде сульфидов (FeS и др.), в растворах – в форме иона (SO_4^{2-}), в газообразной фазе в виде сероводорода (H_2S) или сернистого газа (SO_2). В некоторых организмах сера накапливается в чистом виде (S_2) и при их отмирании на дне морей образуются залежи самородной серы. В морской среде сульфат-ион занимает второе место по содержанию после хлора и является основной доступной формой серы, которая восстанавливается автотрофами и включается в состав аминокислот. Круговорот серы, хотя ее требуется организмам в небольших количествах, является ключевым в общем процессе продукции и разложения. Например, при образовании сульфидов железа (FeS), фосфор переходит в растворимую форму, доступную для организмов. В наземных экосистемах сера возвращается в почву при отмирании растений, захватывается микроорганизмами, которые восстанавливают ее до H_2S . Другие организмы и воздействие самого кислорода приводят к окислению этих продуктов. Образовавшиеся сульфаты растворяются и поглощаются растениями из поровых растворов почвы — так продолжается круговорот. Однако круговорот серы, так же как и азота, может быть нарушен вмешательством человека. Виною тому прежде всего сжигание ископаемого топлива, а особенно угля. Сернистый газ (SO_2) нарушает процессы фотосинтеза и приводит к гибели растительности. Биогеохимические циклы легко нарушаются человеком. Так, добывая минеральные удобрения, он загрязняет воду и воздушную среду. В воду попадает фосфор, вызывая эвтрофикацию, азотистые высокотоксичные соединения и др. Иными словами, круговорот становится не циклическим, а ациклическим. Охрана природных ресурсов должна быть, в частности, направлена на то, чтобы ациклические биогеохимические процессы превратить в циклические.

Содержание серы в земной коре составляет $4,7 \times 10^{-2}\%$, в почве – $8,5 \times 10^{-2}\%$, в океане – $8,8 \times 10^{-2}\%$ (Виноградов, 1962; Ковда, 1985). Однако в засоленных почвах содержание серы может достигать значений, измеряемых целыми процентами. Сера имеет ряд изотопов, среди которых в природных соединениях наиболее распространены S^{32} (95,06%) и S^{34} (4,18%). В результате биогеохимических и биологических процессов происходит изменение в соотношении этих изотопов в сторону увеличения легкого изотопа в верхних гумусовых горизонтах почв. Это свидетельствует в пользу того, что интенсивный биологический круговорот серы в почвах охватывает только ее верхние слои. Однако почвенно-грунтовые воды и подземные воды также принимают участие в биогеохимическом цикле серы. На это указывает сходство изотопного состава серы подземных, почвенно-грунтовых вод и воднорастворимых сульфатов из горизонта С сульфатно-содовых солончаков и свидетельствует об участии серы подземных вод в формировании сульфатно-содового засоления. Таким образом, в засоленных почвах биогеохимический круговорот серы не ограничивается верхними гумусовыми горизонтами, а охватывает значительную толщу: 5-10 и более метров (Буйлов, Буйлова, 1976). Промышленные процессы и перевоз-

ки серных отходов уносят в атмосферу большое количество серы. В отдельных случаях значительная концентрация серы в воздухе служит причиной нарушений в окружающей среде. Двуокись серы (точнее, ее присутствие в воздухе) поражает как высшие растения, так и лишайники, причем эпифитные лишайники могут служить индикаторами на повышенное содержание серы в воздухе, так как их чувствительность к появлению SO_2 в воздухе значительно выше. Связано это с тем, что лишайники впитывают (поглощают) влагу из атмосферы всем слоевищем. Именно поэтому концентрация серы в них быстро достигает предельно допустимый уровень и организмы погибают. Однако, несмотря на признание важности роли серных соединений в функционировании биосферы, информации о биогеохимическом циркулировании серы и ее балансе недостаточно. Более подробно этот вопрос рассмотрели Дж. П. Френд (1976) и Ф. Я. Шипунов (1980). Биогеохимический цикл серы состоит из четырех стадий.



I Усвоение минеральных соединений серы живыми организмами (растениями и бактериями) и включение серы в состав белков и аминокислот.

II Превращение органической серы живыми организмами (животными и бактериями) в конечный продукт - H_2S .

III Окисление минеральной серы живыми организмами (серобактериями, тионовыми бактериями) в процессе сульфатредукции. На этой стадии происходит окисление сероводорода, элементарной серы, ее тио- и тетрасоединений.

IV Восстановление минеральной серы живыми организмами (бактериями) в процессе десульфификации до H_2S .

Таким образом, важнейшим звеном всего биогеохимического цикла серы в биосфере является биогенное образование сероводорода. Биогеохимический цикл серы играет основную роль в общем круговороте этого элемента в биосфере. Приходные статьи баланса серы в общем круговороте следующие (Дж. П. Френд, 1976; цит. по Шипунову, 1980).

1. Дегазация земной коры - 12×10^{12} г/год.
2. Выветривание осадочных пород (пирит, гипс и др.) - 42×10^{12} г/год.
3. Антропогенные поступления серы в виде SO - 65×10^{12} г/год.

Итого: 119×10^{12} г/год. Уход серы за пределы биосферы в осадочные отложения в виде сульфидов и сульфатов - 100×10^{12} г/год.

Из этих данных видно, что антропогенное поступление серы в биосферу существенно изменяет круговорот этого элемента, а приход серы в биосферу превышает на современном этапе ее расход, как результат, в биосфере в целом наблюдается приход нециклической серы.

Сера также имеет основной резервный фонд в отложениях и почве, но в отличие от фосфора имеет резервный фонд и в атмосфере. В обменном фонде главная роль принадлежит микроорганизмам. Одни из них восстановители, другие – окислители. В горных породах сера встречается в виде сульфидов (FeS и др.), в растворах – в форме иона (SO_4^{2-}), в газообразной фазе в виде сероводорода (H_2S) или сернистого газа (SO_2). В некоторых организмах сера накапливается в чистом виде (S_2) и при их отмирании на дне морей обра-

зуются залежи самородной серы. В морской среде сульфат-ион занимает второе место по содержанию после хлора и является основной доступной формой серы, которая восстанавливается автотрофами и включается в состав аминокислот. Круговорот серы, хотя ее требуется организмам в небольших количествах, является ключевым в общем процессе продукции и разложения. Например, при образовании сульфидов железа (FeS), фосфор переходит в растворимую форму, доступную для организмов. В наземных экосистемах сера возвращается в почву при отмирании растений, захватывается микроорганизмами, которые восстанавливают ее до H_2S . Другие организмы и воздействие самого кислорода приводят к окислению этих продуктов. Образовавшиеся сульфаты растворяются и поглощаются растениями из поровых растворов почвы — так продолжается круговорот. Однако круговорот серы, так же как и азота, может быть нарушен вмешательством человека. Вино тому, прежде всего, сжигание ископаемого топлива, а особенно угля. Сернистый газ (SO_2) нарушает процессы фотосинтеза и приводит к гибели растительности. Биогеохимические циклы легко нарушаются человеком. Так, добывая минеральные удобрения, он загрязняет воду и воздушную среду. В воду попадает фосфор, вызывая эвтрофикацию, азотистые высокотоксичные соединения и др. Иными словами, круговорот становится не циклическим, а ациклическим. Охрана природных ресурсов должна быть, в частности, направлена на то, чтобы ациклические биогеохимические процессы превратить в циклические. Таким образом, всеобщий гомеостаз биосферы зависит от стабильности биогеохимического круговорота веществ в природе. Но являясь планетарной экосистемой, биосфера состоит из экосистем всех уровней, поэтому первоочередное значение для ее гомеостаза имеют целостность и устойчивость природных экосистем.

Круговорот серы имеет ряд характерных особенностей:

- ✓ обширный резервный фонд в почвах и меньший — в атмосфере;
- ✓ ключевая роль в быстро обмениваемом фонде микроорганизмов, выполняющих определенную работу в окислении или восстановлении;
- ✓ микробная регенерация из глубоководных отложений, в результате которой вверх движется газовая фаза (H_2S);
- ✓ взаимодействие геохимических и метеорологических процессов с биологическими процессами;
- ✓ взаимодействие воздуха, воды и почвы в регуляции круговорота в глобальном масштабе.

Основная доступная форма серы — SO_4^{2-} — восстанавливается автотрофами и включается в белки. Для растений серы требуется меньше, чем азота и фосфора, поэтому лимитирующим фактором она бывает реже. Тем не менее, круговорот серы — ключевой в общем процессе продуцирования и разложения биомассы.

Круговороты различных элементов могут оказывать взаимное влияние друг на друга. Например, при образовании в осадках сульфидов железа фосфор из нерастворимых соединений переходит в растворимые.

В последнее время на круговороты азота и серы все большее влияние оказывает промышленное загрязнение атмосферы. Особенно токсичны соединения азота в форме оксидов NO_2 и N_2O и серы — в форме SO_2 , которые являются промежуточными продуктами круговоротов этих элементов. В большинстве местообитаний их концентрация невелика, но в связи с неумеренным сжиганием топлива содержание в воздухе этих соединений, особенно в крупных промышленных центрах, увеличилось до такой степени, что они представляют опасность для важных биотических компонентов экосистемы.

Основным источником соединений азота являются выхлопные газы и другие промышленные выбросы, сернистого газа — продукты сжигания угля.

Особенно большой вред наносит SO_2 растениям. Реагируя с водяным паром, он образует слабую серную кислоту, которая выпадает с осадками, известными как «кислотные дожди». Попадая на листовую поверхность, H_2SO_4 вызывает химические ожоги, что снижает фотосинтезирующую поверхность растений.

Оксиды азота раздражают дыхательные пути высших животных и человека. Также следует иметь в виду, что, реагируя с другими соединениями, они могут образовывать соединения с синергическим эффектом, когда взаимодействие продуктов реакции больше суммарного воздействия каждого из реагирующих веществ в отдельности. Например, под действием ультрафиолетового излучения солнца NO_2 вступает в реакцию с продуктами неполного сгорания углеводов. В результате возникает фотохимический смог.

В конечном счете, оксиды азота и серы, попадающие в атмосферу, ухудшают качество жизни.

Вопросы для самоконтроля

1. Влияние климатических условий на миграционную способность кальция.
2. Роль кальция в почвообразовании.
3. Характеристика малого биологического круговорота кальция.
4. Влияние живых организмов на миграцию кальция и его круговорот.
5. Значение серы в формировании химических свойств почвы.
6. Влияние хозяйственной деятельности человека на круговорот серы.
7. Биогеохимический круговорот серы в засоленных почвах.
8. Стадии биогеохимических циклов серы.
9. Отличительные черты круговорота серы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Барабанов, В.Ф. Геохимия. – Л.: Недра, 1985.
2. Гаврусевич, Б.А. Основы общей геохимии. – М.: Недра, 1968.
3. Добровольская, М.Г. Геохимия земной коры. – М.: Изд-во РУДН, 2001.
4. Добровольский, В.В. Химия Земли. – М.: Просвещение, 1988.
5. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 2002.
6. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005.

Дополнительная

1. Сауков, А.А. Геохимия. – М.: Наука, 1975.
2. Щербина, В.В. Основы геохимии. – М.: Недра, 1972.
3. Ферсман, А.Е. Занимательная геохимия. – Изд-во АН СССР, 1959.

БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЕЕ ПЛОДОРОДИЯ

12.1. Баланс питательных веществ в почве

Критерием экологической безопасности системы применения удобрений, ее влияния на плодородие почв является баланс важнейших элементов питания - азота, фосфора, калия, кальция и др.

Баланс питательных веществ - это количественное выражение содержания питательных веществ в почве на конкретной площади или объекте исследования (поле севооборота, севооборот, хозяйство, зона, область и страна) с учетом всех статей их поступления (внесение удобрений, природные источники и др.) и расхода (вынос урожаем, естественные потери в результате вымывания, улетучивания и т. д.) в течение определенного промежутка времени (В.Г. Минеев).

Выделяют баланс *биологический, хозяйственный и внешне хозяйственный*.

Биологический баланс охватывает все статьи поступления питательных веществ, вовлекаемых в круговорот, в том числе с корневыми и пожнивными остатками. Его используют при оценке отдельных севооборотов.

Хозяйственный баланс основывается на учете выноса питательных веществ с основной и побочной продукцией и их поступление за счет внесения минеральных и органических удобрений.

Внешне хозяйственный баланс учитывает отчуждение питательных веществ за пределы хозяйства и поступление их с минеральными удобрениями.

Баланс азота, фосфора и калия имеет свои особенности.

Азот в системе почва - удобрение отличается высокой подвижностью. Другая особенность баланса азота - его биологическая фиксация симбиотическими и свободноживущими микроорганизмами.

Фосфор не имеет естественных источников пополнения запаса в почве. Потери происходят в основном за счет эрозии почв. Вымывание из суглинистых и глинистых почв не превышает 1 кг/га и лишь на песчаных и торфяных почвах достигает 3-5 кг/га. Отчуждение фосфатов происходит главным образом с урожаем сельскохозяйственных культур.

Баланс **калия** характеризуется большими почвенными ресурсами. Однако при длительном с.-х. использовании содержание доступного растениям обменного калия уменьшилось до среднего уровня обеспеченности, поэтому калийные удобрения являются обязательным компонентом системы удобрения, а баланс калия служит важным показателем ее эффективности в деле сохранения и повышения плодородия почв.

Количественные показатели баланса питательных веществ в конкретных почвенно-климатических условиях являются экологическим показателем позволяющим оценить степень изменения основных элементов эффективного плодородия почв, возможность возрастания содержания химических веществ до уровня при котором происходит нарушение роста и развития растений. Кроме того, результаты баланса служат показателями контроля качества получаемой сельскохозяйственной продукции с конкретных территорий, так как при положительном балансе элементов возрастает опасность увеличения их концентрации до опасных уровней.

Баланс питательных веществ составляют на ротацию севооборота. При расчете поступления азота с семенами следует учесть весовые нормы посева семян и содержание в них основных элементов питания.

При оценке баланса необходимо использовать рекомендации классиков отечественной агрохимии. Если баланс фосфора, калия, кальция и других элементов оказался отрицательным, а по азоту составил менее 80%, необходимо пересмотреть всю систему удобрений и наметить мероприятия, исключающие снижение плодородия почв. Если фонд об-

менного калия и степень насыщенности поглощающего комплекса кальцием высоки (тем более при наличии свободных карбонатов), то отрицательный баланс K_2O и CaO временно допустим. Баланс фосфора в севообороте должен быть на уровне 100%, а чаще несколько более.

По азоту положительный баланс недопустим, так как опасен для окружающей среды. При его величине менее 80% возрастают потери гумуса, происходит его обеднение азотом, снижается биологическая активность почвы.

12.2. Расчет агрохимического баланса биологического круговорота элементов

Баланс питательных веществ – это прогнозный, эколого-агрономический показатель продуктивности культур, плодородия почв и степени соответствия их количеству и качеству применяемых удобрений и одновременно показатель химической нагрузки не только на почвы и растения, но и на контактирующие с ними компоненты окружающей среды.

Приходная часть баланса – поступление органических и минеральных удобрений, мелиоранты, элементы из атмосферы, фиксация азота бобовыми, посевной материал, растительные остатки.

Расходная часть – расходование элементов на создание основной и побочной продукции культур, вымывание элементов в грунтовые воды, газообразные потери, потери в результате выветривания, эрозии. При полном расчете всех статей перечисленного баланса – баланс биологический, а при исключении растительных остатков в приходной и расходной части – хозяйственный. Расчет вести за ротацию севооборота.

Роль гумуса в жизни растений многообразна. Гумус определяет основные физические и биологические свойства почвы. Без применения удобрений связь урожая с содержанием гумуса настолько тесная, что гумус становится одним из основных бонитировочных признаков плодородия почвы.

Расчет баланса гумуса позволяет осуществить контроль за характером изменения содержания гумуса при сложившейся структуре посевных площадей и уровне применения удобрений.

Баланс гумуса – соотношение между его расходом и восполнением. Основными статьями прихода гумуса являются гумификация корневых и пожнивных остатков растений и вносимые органические удобрения. Основные статьи расхода гумуса – минерализация и потери в результате эрозии.

Приходные статьи баланса (т/га)

Гумификация корневых и пожнивных остатков

Количество корневых и пожнивных остатков зависит от культуры и ее урожайности. Количество образующегося из остатков гумуса зависит от их количества и степени гумификации. Его можно рассчитать по формуле:

$$Г_1 = У \cdot K_p \cdot K_r, \text{ где}$$

$Г_1$ – количество гумуса, образующегося из пожнивных и корневых остатков;

$У$ – урожай культуры, т/га;

K_p – коэффициент накопления корневых и пожнивных остатков относительно урожая культуры (табл. 1);

K_r – коэффициент гумификации растительных остатков (табл. 2).

Гумификация органических удобрений

Органические удобрения повышают урожай, а, следовательно, и количество корневых и пожнивных остатков. Часть органического вещества гумифицируется и непосред-

ственно участвует в восполнении гумуса.

Таблица 1

Коэффициенты выхода корневых и пожнивных остатков
относительно урожая основной продукции (K_p)

Культура	Урожайность, т/га	K_p
Озимые культуры	1,0	1,8
	2,0	1,5
	3,0	1,3
Яровая пшеница, ячмень	1,0	1,6
	2,0	1,4
	3,0	1,2
Овес	1,0	1,8
	2,0	1,5
	3,0	1,3
Кукуруза/зерно	1,0	1,8
	2,0	1,5
	3,0	1,3
Просо, гречиха	1,0	1,7
	2,0	1,4
Зерновые бобовые	1,0	1,4
	2,0	1,3
	3,0	1,2
Сахарная свекла, кормовые кор- неплоды	10,0	0,13
	25,0	0,11
	40,0	0,08
Подсолнечник	1,0	2,4
	2,0	1,7
Картофель	10,0	0,17
	20,0	0,14
	30,0	0,10
Кукуруза/силос	10,0	0,27
	20,0	0,21
	30,0	0,16

Таблица 2

Коэффициенты гумификации растительных остатков и органических удобрений (K_r)

Культуры	Коэффициент
Зерновые, зернобобовые	0,25
Сахарная свекла	0,10
Подсолнечник	0,20
Картофель, овощи, корнеплоды	0,10
Кукуруза	0,15
Навоз подстилочный	0,09

Расходные статьи баланса (т/га)
Минерализация гумуса

Размер минерализации гумуса определяется общим количеством гумуса в пахотном слое, степенью его устойчивости при обработке почвы, климатическими условиями. Потери гумуса за счет минерализации можно рассчитать по формуле:

$$П_m = Г \cdot h \cdot d \cdot K_m \cdot K_k, \text{ где}$$

$П_m$ – потери гумуса за счет минерализации;

$Г$ – содержание гумуса в почве, %;

h – глубина пахотного слоя, см;

d – плотность почвы, г/см³ (табл. 3);

K_m – коэффициент минерализации гумуса (табл. 4);

K_k – относительный индекс биологической продуктивности, который характеризует климатические условия минерализации гумуса в исследуемом месте по отношению к среднему показателю по стране, принятому за единицу.

При размещении в одном поле нескольких культур, накопление гумуса и потери определяют как средневзвешенные показатели.

Потери гумуса от эрозии

В результате смыва почвы на эродированных полях и участках происходит потеря гумуса, которую можно определить по формуле:

$$P_3 = (C_c \cdot \Gamma) : 100, \text{ где}$$

P_3 – потери гумуса в результате эрозии, т/га;

C_c – среднегодовой смыв почвы, т/га (табл. 5);

Γ – содержание гумуса в почве, %.

Таблица 3

Плотность почвы (d)

Почвы	Плотность почвы, г/см ³
Дерново-подзолистые супесчаные	1,4-1,6
Светло-серые лесные суглинистые	1,3-1,4
Серые лесные	1,2-1,3
Темно-серые лесные, чернозем оподзоленный	1,1-1,2
Чернозем выщелоченный и типичный	1,0-1,1
Чернозем обыкновенный и южный	1,1-1,2
Темно-каштановые почвы	1,2-1,3

Таблица 4

Коэффициенты минерализации гумуса

Группа культур	Зона, почвы		
	лесостепная		степная
	темно-серая лесная, чернозем оподзоленный	чернозем выщелоченный, типичный	чернозем обыкновенный и южный, темно-каштановая
зерновые	0,0060	0,0052	0,0045
пропашные	0,0125	0,0108	0,0095

Таблица 5

Ориентировочный смыв почвы со склонов различной степени крутизны, т/га

Агрофон	Уклон, град	Без применения противоэрозионных мероприятий		С применением агротехнических эрозионных мероприятий	
		чернозем	серые лесные	чернозем	серые лесные
зябь	до 1 ⁰	0,30	0,40	0,20	0,20
	1-3 ⁰	2,30	3,00	1,20	1,60
	более 3 ⁰	8,00	10,00	2,90	3,60
озимые	до 1 ⁰	0,10	0,20	0,05	0,10
	1-3 ⁰	1,30	1,50	0,07	0,80
	более 3 ⁰	3,40	4,50	1,80	2,40

По результатам накопления гумуса за счет гумификации корневых и пожнивных

68

Расчет потребности в органических удобрениях на перспективу

[illegible]

Расчет баланса гумуса в почвах

Показатели	За _____ гг.	Прогноз на _____ г.
Накопление гумуса, т/га		
от пожнивно-коревых остатков		
от органических удобрений		
Потери гумуса, т/га		
при минерализации гумуса		
при эрозии почв		
Баланс. т/га		

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под балансом питательных веществ?
2. Какие задачи решают при составлении баланса питательных веществ?
3. Назовите основные статьи поступления питательных веществ в почву.
4. Перечислите основные статьи расходования питательных элементов из почвы.
5. Что такое активный баланс?
6. В каких природно-климатических регионах нашей страны складывается положительный баланс, а в каких – отрицательный?
7. Почему в южных районах нашей страны резко отрицательный баланс по калию?
8. Что понимают под бездефицитным балансом гумуса в почве и как его создать?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Барабанов, В.Ф. Геохимия. – Л.: Недра, 1985.
2. Гаврусевич, Б.А. Основы общей геохимии. – М.: Недра, 1968.
3. Добровольская, М.Г. Геохимия земной коры. – М.: Изд-во РУДН, 2001.
4. Добровольский, В.В. Химия Земли. – М.: Просвещение, 1988.
5. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии. – М.: Высшая школа, 2002.
6. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005.

Дополнительная

1. Сауков, А.А. Геохимия. – М.: Наука, 1975.
2. Щербина, В.В. Основы геохимии. – М.: Недра, 1972.
3. Ферсман, А.Е. Занимательная геохимия. – Изд-во АН СССР, 1959.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПОЧВ В РОССИИ

Первая научно обоснованная классификация почв России была подготовлена В. В. Докучаевым в 1886 г. При ее разработке ученый исходил из условий и характера образования почв. В дальнейшем эта классификация почв России была дополнена и доработана последующими поколениями русских ученых. В современной классификации выделены главные типы почв, образование которых связано с различными почвообразующими породами, рельефом местности, климатом и особенностями растительности.

На территории России с севера на юг выделяют следующие почвенные зоны (районы с преобладанием одного основного почвенного типа): тундровую, таежно-лесную, лесостепную, черноземно-степную и зону сухих и полупустынных степей.

13.1. Дерново-подзолистые почвы

Тундровая зона. Она расположена по побережью морей Северного Ледовитого океана и занимает довольно обширную территорию нашей страны.

Слово «тундра» на языке северных народов означает безлесье. Характерной особенностью природных условий тундры является наличие на небольшой глубине вечной мерзлоты, которая представляет собой непроницаемый водоупорный слой. Почвы тундровой зоны формируются под мхами, лишайниками и мелкими кустарниками в условиях сурового климата с коротким летом и длительной зимой. Почвы тундровой зоны обычно маломощны и сильно заболочены, на их поверхности залегает небольшой торфянистый горизонт, а под ним - тонкий горизонт с небольшим содержанием перегноя.

Почвы тундровой зоны используют как пастбища для оленей и охотничьего промысла, а на отдельных осушенных и хорошо обработанных полях выращивают ранние овощи, картофель, ячмень, овес, кормовые культуры.

Таежно - лесная зона. Она находится на территории, составляющей почти 75 % общей площади России. Северная граница этой зоны совпадает с южной границей лесотундры, а южная проходит через города Брянск - Рязань - Нижний Новгород - Ижевск, затем огибает с юга Урал и продолжается до Томска, где круто поворачивает к югу и, дойдя до Государственной границы России, продолжается по ней до дальнего Востока.

В послеледниковый период образованию зеленой растительности в умеренном климате Северного полушария предшествовали в основном лесные породы. Травам здесь не сразу удалось занять свое место. Они расселялись по безлесным местам, прежде всего по долинам рек. Там, где появлялся хвойный лес, создание перегноя и вообще природного начала почвы шло очень медленно. Виноват в этом не сам лес, долго сохраняющий органическую массу над землей в виде стволов и веток деревьев, сколько прохладный климат, сопутствующий образованию леса, и обилие воды, которая хотя и дает начало всякой жизни, но одновременно промывает вглубь грунтов молодые и нестойкие органические продукты распада древесины.

Эти продукты в соединении с минеральными осадочными породами почти всегда создают кислую среду, способствующую разложению органических веществ, часть которых и уходит с водой в глубину грунтов. И ныне, по прошествии многих тысяч лет как идет почвообразование в нашей таежно-лесной зоне, слой перегноя не превышает в естественных условиях толщины 7... 10 см.

А сразу под ним можно увидеть подзолистый светло-серый слой, который имеет высокую кислотность, и затем ржаво-коричневый слой вымывания. Ниже этих слоев на много метров залегают плотные слои глины или песка с щебнем, т. е. то, что осталось от ледникового периода. Эти почвы имеют цвет золы, поэтому их и называют *подзолистыми*.

При распашке подзолистые почвы быстро теряют свое плодородие, поэтому они нуждаются во внесении органических и минеральных удобрений, а также в известковании - внесении в почву известковых удобрений для устранения вредной для многих сельскохозяйственных культур кислотности почвы. После проведения культур технических работ по улучшению подзолистых почв на них можно получить высокие урожаи зерновых, картофеля, овощей, льна, многолетних трав, а также использовать под луга и пастбища.

В таежно-лесной зоне чаще встречаются *дерново-подзолистые* почвы, которые богаче перегноем и менее кислые, чем подзолистые. Дерново-подзолистые почвы формировались при совместном влиянии подзолистого и дернового почвообразовательных процессов. Однако и эти почвы требуют улучшения, поэтому для повышения плодородия дерново-подзолистых почв мощность пахотного слоя увеличивают до 20... 22 см и более, постоянно вносят органические и минеральные удобрения, периодически известкуют, расширяют посевы многолетних и злаковых трав.

В таежно-лесной зоне встречаются *болотные* почвы, под которыми имеется торфяной горизонт разной мощности с серо-сизой окраской. Болотные почвы образуются в основном в результате заболачивания суши. Характерной особенностью распространения болотных почв в таежно-лесной зоне является то, что они не образуют сплошных массивов, а располагаются различными по площади пятнами среди подзолистых, дерново-подзолистых и других почв.

Болотные почвы используют под сенокосные угодья, но качество этих сенокосов обычно невысокое. После осушения болот и проведения культуртехнических работ болотные почвы превращаются в сельскохозяйственные угодья, которые при рациональном использовании дают высокие урожаи однолетних и многолетних трав, кормовых корнеплодов, овощных и технических культур.

Имеют кислую реакцию (рН 4—5), значительную обменную (1—2 мг • экв/100 г, 80—90 % которой приходится на алюминий) и гидролитическую (3—6 мг • экв/100 г) кислотность, низкие ЕКО (5—15 мг • экв/100 г) и степень насыщенности основаниями (30—70 %). Поэтому в большинстве своем эти почвы нуждаются в известковании.

Агрохимические показатели этих почв зависят от гранулометрического состава и степени окультуренности. Песчаные и супесчаные почвы наиболее бедны гумусом (до 0,5—1,0%), азотом (до 0,003—0,08%), фосфором (0,03—0,6%), калием (0,5—1,0%), а также кальцием, магнием и другими макро- и микроэлементами. Суглинистые и глинистые разности гораздо богаче по содержанию гумуса (2—4%), азота (0,1—0,2), фосфора (0,07—0,12), калия (более 1,5 %), а также других макро- и микроэлементов.

Большинство этих почв бедны подвижными (минеральными) формами азота, фосфора, а легкие — калия. При высокой окультуренности кислотность их снижается до рН 5,1—6,0 и резко возрастают содержание гумуса (2,5—4,0%), подвижных форм фосфора (до 150—200 мг/кг), калия (200—300 мг/кг), а также ЕКО, степень насыщенности основаниями и обеспеченность другими питательными элементами.

Эти почвы распространены в зоне достаточного увлажнения, и применение удобрений и известкование здесь высокоэффективны. Из отдельных элементов в первом минимуме здесь, как правило, азот, а на слабоокультуренных почвах и фосфор. На легких почвах этой зоны высокоэффективно наряду с азотно-фосфорными удобрениями применение калийных, особенно магнийсодержащих форм.

Таблица

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв

Степень окультуренности	рН _{сол}	Мощность пахотного горизонта, см	Содержание гумуса, %	Подвижный фосфор, мг/100 г почвы	Обменный калий, мг/100 г почвы
Слабая	4-4,5	До 20	1,5-2,0	До 5	До 10
Средняя	4,6-5,0	20-22	2,0-2,5	5-10	10-15

Сильная	5,1-6,0	22-25	2,5-4,0	18-25	20-30
---------	---------	-------	---------	-------	-------

13.2. Серые лесные почвы

Лесостепная зона. Она расположена южнее таежно-лесной, а ее южная граница в европейской части России проходит через города Тула- Ульяновск- Уфа, в азиатской части продолжается через Челябинск- Омск- Новосибирск- Кемерово – Иркутск - Улан – Удэ - Чита. Характерная особенность территории этой зоны - извилистое очертание границ и островное расположение в пределах Восточной Сибири.

Серые лесные почвы этой зоны сформировались в условиях умеренного теплого климата, равнинного, волнистого рельефа с понижениями и оврагами. Причем почти все осадки, выпадающие в лесостепной зоне, практически полностью испаряются. Серые лесные почвы образовались под луговой, степной растительностью и частично под покровом осветленных широколиственных лесов. Обилие растительных остатков в условиях сезонного увлажнения, насыщенность лесов и лёссовидных суглинков твердыми основаниями, слабокислая реакция усиливают почвообразовательный процесс и способствуют накоплению перегноя и питательных веществ. Здесь лёсс - неслоистая пористая осадочная горная порода серо-желтого или палевого цвета, богатая углекислым кальцием.

Почвы лесостепи давно уже освоены для сельскохозяйственного использования и более 40 % из них занято под Пашней, а около 10 % - под сенокосами и пастбищами. Эти почвы пригодны для выращивания озимых и яровых зерновых, картофеля, кукурузы на силос, люцерны и других культур. Но эти почвы необходимо правильно обрабатывать и защищать от эрозии - разрушения ветром и водой. Агротехнические мероприятия по повышению плодородия этих почв предусматривают углубление пахотного слоя, применение всех видов удобрения, известкования, почвозащитных севооборотов и противоэрозионной обработки на склонах.

По мощности гумусового горизонта, содержанию гумуса и степени оподзоленности характеризуются неодинаковыми агрохимическими показателями. В светло-серой почве рН 4,8—5,4, содержание гумуса 1,6—3,4%, Н_г и S соответственно 2,3—3,8 и 10—18 мг • экв/100 г, К 72—82 %, содержание подвижных форм фосфора и калия в пределах 3-го класса (табл. 35). В серых лесных все показатели улучшаются и достигают максимума в темно-серых лесных: рН 5,5—6,0, гумус 3,5—7,0 %, Н_г и S соответственно 2,3—5,4 и 20—36 мг • экв/100 г, V 80—86 %, обеспеченность подвижными фосфором и калием соответствует 4-му классу.

В первом минимуме на светло-серых и серых лесных почвах находится азот, во втором — фосфор, а на темно-серых почвах возможна обратная зависимость. Потребность во внесении калийных удобрений на этих почвах появляется при возделывании калиелюбивых культур (картофель, свекла и др.).

В зависимости от уровня интенсификации земледелия легко изменяемые агрохимические показатели (рН, обеспеченность подвижными формами элементов и др.) могут существенно изменяться, причем не только в сторону улучшения, но и в противоположную.

Таблица

Агрохимическая характеристика серых лесных почв

Под-тип	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	рН _{со} _л	Н _г , мг-экв/100 г почвы	S, мг-экв/100 г почвы	V, %	Подвижный фосфор, мг/100 г почвы	Обменный калий, мг/100 г почвы
Светло серые	15-25	1,6-3,4	4,8-5,4	2,3-3,8	10-18	72-82	6	10

Серые	25-30	2,2-4,7	5,2-5,7	2,9-3,5	14-25	76-87	8	13
Темно серые	40-60	3,5-7,0	5,5-6,0	2,3-5,4	20-36	80-86	12	15

13.3. Черноземы

Черноземно-степная. Эта зона располагается южнее лесостепной. В пределах европейской части России она занимает сплошную территорию, а южная ее граница совпадает с Государственной границей России и Украины. В азиатской части страны черноземно-степная зона доходит до Оби, а с юга граничит с Казахстаном.

Черноземы образовались под обильной степной растительностью в условиях равнинного рельефа, умеренно теплого климата и ограниченного количества осадков. Плодородие черноземов создавалось многие тысячелетия.

Когда-то здесь на лёссовидных суглинках стали произрастать степные растения, такие, как ковыль, тимopheевка, овсюг и т.д. Травы ежегодно отмирали, их остатки служили пищей микроорганизмам, насекомым и другим животным, которые способствовали их разложению и превращению в перегной. Так в почве накапливались азот и фосфор, которые необходимы растениям в первую очередь. В перегное отдельные почвенные частицы склеивались в комочки, приобретая форму зерен гороха. Создавалась прочная зернистая и мелкозернистая структура черноземов.

Черноземные почвы России распахивают уже не одну сотню лет, и, тем не менее, они продолжают оставаться самыми богатыми почвами в мире. При внесении в такие почвы необходимых удобрений урожайность сельскохозяйственных культур значительно повышается. Эти земли необходимо правильно использовать и защищать от ветровой и водной эрозии. Кроме того, необходимо заботиться о накоплении влаги в почве, чтобы в засушливые годы растения не страдали от недостатка воды.

Зона сухих и полупустынных степей. Эта зона находится к югу от черноземно-степной зоны и размещается в Калмыкии и в Астраханской области, а в пределах Восточной Сибири имеет островное распространение в Минусинских и Приамурских степях.

Почвы зоны сухих и полупустынных степей сформировались в условиях недостаточного увлажнения и повышенной температуры, поэтому в них меньше перегноя, чем в черноземах. Хотя эти почвы и обладают высоким естественным плодородием, но недостаток влаги, особенно в засушливые годы, не позволяет получать ежегодно устойчивые урожаи. Но зато при искусственном орошении на этих землях можно получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Для повышения плодородия почв России, ежегодно проводится ряд специальных мероприятий по улучшению состояния почвенных ресурсов, а также их обогащения органическими веществами. В зависимости от зон, виды мелиоративных работ различны: это искусственное осушение заболоченных земель, насыщение минеральными удобрениями, орошение в засушливых регионах.

Это наиболее плодородные почвы. Они содержат в пахотном горизонте много гумуса (4—12 %), общих запасов азота (0,2—0,5 %), фосфора (0,1—0,3 %) и калия (2,5—3,0 %). Реакция от нейтральной в типичном черноземе подкисляется до слабокислой при переходе через выщелоченные к оподзоленным подтипам, соответственно возрастает (от 0,5—3,0 до 5—7 мг • экв/100 г) гидролитическая кислотность, а при переходе к югу через обыкновенный к южному подтипу подщелачивается до pH 7—8, а гидролитическая кислотность исчезает. Максимальные ЕКО (50—60 мг • экв/100 г), гумусированность (8—12 %), общие запасы азота (0,4—0,5 %) и фосфора (0,25—0,35 %) в типичном черноземе снижаются при переходе к северным и особенно южным подтипам.

Таблица

Агрохимическая характеристика черноземных почв

Подтип	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	pH _{водн}	H _г , мг-экв/100 г почвы	E, мг-экв/100 г почвы	V, %
Выщелоченный	80-150	6-9	5,5-6,5	2,0-4,0	45-55	85-95
Типичный	100-180	8-12	6,5-7,0	0,5-3,0	50-60	90-98
Обыкновенный	60-140	5-8	7,0-8,0	0-1,0	40-50	95-100
Южный	40-80	3-6	7,0-8,0	0-0,5	25-35	98-100

Несмотря на высокое потенциальное плодородие, обеспеченность старопахотных и слабо удобрявшихся или не удобрявшихся почв подвижными формами фосфора и азота заметно уменьшается и нередко не превышает 2—4-го класса. Поэтому на таких почвах наиболее эффективны фосфорные, а при благоприятных условиях увлажнения и азотные удобрения. На старопахотных и мало удобрявшихся почвах под калиелюбивые культуры наряду с фосфорно-азотными могут быть эффективны и калийные удобрения. В более увлажненных западных районах Черноземной зоны эффективность удобрений выше, а при продвижении на восток она снижается в зависимости от увеличения засушливости климата.

13.4. *Каштановые почвы*

При переходе с севера на юг они подразделяются на подтипы: от темно- до светло-каштановых. Плодородие их при этом снижается. Содержание гумуса уменьшается с 4—5 до 2—3%, общего азота — с 0,2—0,3 до 0,10—0,15%, фосфора — с 0,1—0,2 до 0,08—0,15%, ЕКО — с 30—35 до 12—15 мг • экв/100 г, возрастает щелочность (pH_{сол}) с 7,0—7,2 до 7,4—8,0, а среди поглощенных катионов — удельный вес натрия. Каштановые почвы богаты калием, но часто имеют низкую обеспеченность усвояемыми формами азота и фосфора. Из-за недостатка влаги эффективность фосфорных и азотных удобрений низкая. В богарных условиях на этих почвах рекомендуют только минимальные дозы (10—15 кг/га) фосфорных удобрений, которые вносят при посеве. При орошении резко возрастает эффективность азотных и фосфорных удобрений, а калийные в большинстве случаев неэффективны.

Среди каштановых и особенно светло-каштановых почв с увеличением доли натрия в ППК и щелочности реакции встречается много разностей различной степени солонцеватости, для повышения плодородия которых необходима, прежде всего, нейтрализация актуальной и обменной щелочности путем гипсования.

Таблица

Агрохимическая характеристика каштановых почв

Подтип	Мощность гумусового горизонта, см	Содержание гумуса, %	Общий азот, %	Общий фосфор, %	pH _{сол}	S, мг-экв/100 г почвы
Темно-каштановая	35-45	4-5	0,20-0,30	0,1-0,2	7,0-7,2	30-35
Каштановая	30-40	3-4	0,15-0,20	0,1-0,2	7,2-7,5	20-13
Светло-каштановая	25-30	2-3	0,10-0,15	0,08-0,15	7,4-8,0	12-15

Вопросы для самоконтроля

1. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв и меры по повышению их плодородия.
2. Агрохимическая характеристика серых лесных почв и меры по повышению их плодородия.
3. Агрохимическая характеристика выщелоченных и оподзоленных черноземов и мероприятия по повышению урожайности сельскохозяйственных культур на этих почвах.
4. Агрохимическая характеристика типичных, обыкновенных и южных черноземов и мероприятия по повышению урожайности сельскохозяйственных культур на этих почвах.
5. Агрохимическая характеристика каштановых почв и мероприятия по повышению урожайности сельскохозяйственных культур на этих почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агропочвоведение. Под ред. В.Д Мухи. – М.: КолосС, 2004. – 528 с.
2. Агрохимия. Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
3. Агрохимическая характеристика почв СССР. М. Наука 1968г. 384с.

Дополнительная

1. Агрохимия / Б.А. Ягодин и [др.]: учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
2. Агрохимия: учебник / ред.: Б. А. Ягодин. - М.: Колос, 1982. - 574 с.
3. Агрохимия и система удобрения: учебное пособие / Н.Х. Дудина. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 400 с.
4. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат. 1990.

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ ПОВОЛЖСКОГО РЕГИОНА И ПРИЕМЫ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Одним из показателей культуры земледелия является высокое плодородие почв. Показателем же почвенного плодородия является урожай. Систематическое повышение урожая сельскохозяйственных растений, есть следствие повышение почвенного плодородия.

Задача в области земледелия заключается в том, чтобы обеспечить прогрессивно возрастающее повышение плодородия почв. Способов повышения плодородия почв очень много. Важнейшими из них является посев многолетних трав в севообороте, культура зелёных удобрений (сидератов) применение бактериальных удобрений. В результате осуществления этих мероприятий при правильной обработке резко улучшается биологические свойства почвы, вводно-воздушный режим, повышается эффективность вносимых удобрений. Значительно повышает плодородие и агрохимические свойства почвы, внесение в неё органических и минеральных удобрений, известкования, борьба с сорняками. Эти мероприятия оказывают влияния и на биологические свойства почвы.

Повышения плодородия почвы а, следовательно, и урожайности сельскохозяйственных культур возможно лишь при систематическом применении целого комплекса агротехнических мероприятий, развернутых на фоне правильного и твердого севооборота.

Повышение плодородия почвы и урожайности культур

Минеральные удобрения (МУ)

Вносятся для увеличения урожайности. Однако универсальных МУ нет, т.к. каждая культура требует свой набор компонентов для лучшей вегетации и плодоношения. Неверный подбор МУ может не только не увеличить урожайность, а даже снизить её, особенно при значительных порциях МУ, т.к. химия - яд для многих организмов почвы. Может возникнуть отравление почвы, и результат будет обратным желаемому. К тому же, МУ - неорганические вещества, а основой почвенного плодородия являются органические. И, если посмотреть на этот вопрос буквально, МУ, уменьшая долю органических веществ, даже снижают плодородие почвы. Тем более, что через год после внесения 80 % МУ становятся бесполезными, разрушаются, пополняя почти не причастную к плодородию неорганическую часть почвы.

Вывод: МУ повышают урожайность отдельных культур, но снижают общее плодородие почвы.

Однако это не аксиома. Всё больше появляется комплексных удобрений, совершенствуются технологии их применения. Оптимальный вариант: МУ нужно вносить небольшими порциями + несколько раз в год + в сочетании с органическими удобрениями (которых должно быть значительно больше).

Органические удобрения (ОУ)

Под органическими удобрениями чаще всего понимают навоз. Это столь же неверно, как называть яйцо цыплёнком гриль. Да, при определенных условиях из яйца может вывестись птенец, затем вырасти в упитанного петушка, и лишь потом (если раньше он не приглянется какому-нибудь хищнику) в умелых руках повара это станет выглядеть аппетитно. Также и навоз. В свежем виде навоз не просто не улучшит урожай, а легко уничтожит (выжжет) многие растения. Лишь перепрев (при определенных условиях) он превратится в ОУ. Быстрее всего перепревает конский и коровий навоз, значительно дольше - свиной навоз и птичий помёт.

Пестициды (от. лат "пестис" - зараза и "цид" - убиваю) - ядохимикаты, химические препараты для уничтожения сорняков (гербициды), насекомых (инсектициды), грибов (фунгициды), слизней и улиток (моллюскоциды).

Наряду с полезными свойствами пестициды имеют ряд проблем:

Прямое воздействие на организм - неправильное обращение с ядохимикатами может вызвать гибель людей и домашних животных.

Неспецифичность - наряду с вредными организмами гибнут полезные (в том числе и опылители, что, естественно, не повышает урожайность).

Устойчивость и привыкание вредителей - парадокс, но вредные животные и сорные растения довольно быстро становятся устойчивыми к ядам, и тогда при применении этого препарата гибнут только полезные организмы.

Замещение вредителей - гибель одних видов ведёт к расцвету других. Легко догадаться, что эти виды, как правило, также не являются желательными.

Быстрое восстановление после прекращения применения препарата.

Биологическое накопление ядов, главным образом в почве (что ведет к гибели организмов почвы и её истощению - прим. от biofile.ru) и в самих растениях (что, мягко говоря, снижает их питательную ценность).

Загрязняются поверхностные и даже подземные воды.

Идеальный пестицид:

Эффективно уничтожает вредителей в полевых условиях

Легко вносится в нужной дозе

Биологически разлагается, чтобы токсичные продукты не попадали в продукцию.

Избирателен, поражает только вредоносные виды.

Не накапливается в пищевых цепях.

Безопасен при хранении и транспортировке.

Безопасен для работающих с ним людей.

И, при всём этом, недорог.

Нехимические способы повышения плодородия почв и урожайности культур

Севооборот - рациональное научно-обоснованное чередование с/х культур (и пара) на определенном участке земли. По сравнению с монокультурой обеспечивает восстановление и повышение плодородия почвы и ==> урожайности культур.

Использование биологических способов борьбы с вредителями и сорняками.

Повышение экологического иммунитета культур

Мелиорация (от лат. "melioratio" - улучшение) - улучшение свойств почвы с целью повышения её плодородия. Подразделяется на множество видов и классов. Остановимся на с/х мелиорации, которая подразделяется на 3 класса.

1. Водная - направлена на регулирование водного режима и водных ресурсов территории. Включает следующие виды:

Осушение - удаление лишней влаги из корнеобитаемого слоя почвы

Обводнение - обеспечение водой безводных и маловодных районов путём освоения местных ресурсов воды и переброски её по каналам и трубопроводам с других территорий

Орошение - подача воды на поля, испытывающие недостаток влаги, и увеличение её запасов в почве

2. Земельная - направлена на изменение поверхности и свойств почвенной толщи. Включает обогащение почв питательными веществами, снижение кислотности или щелочности почв, защита их от смыва, улучшение физических свойств почв и т.д.

3. Климатическая - направлена на улучшение погодных условий. Включает искусственное вызывание осадков, предотвращение градобитий, борьба с заморозками, пыльными бурями и суховеями и т.п. Очень сложно восстановить утраченное плодородие почв, на это уходят годы. Поэтому лучше позаботиться о правильной профилактике её истощения и заботливым уходе за ней.

Способы улучшения плодородия почв:

Если происходит уменьшение показателей плодородия почвы, то это проявляется не только в уменьшении урожая. Также растения становятся более подверженными различ-

ным заболеваниям, вредителям. И могут даже погибнуть. Поэтому выясним, какие нужно принять меры.

- Организация севооборота. Одну из главных ролей в улучшении плодородия почвы играет правильно выполненный севооборот. Задача его в том, что на прежнее же место однолетние и двухлетние культуры необходимо высаживать примерно через 5 лет. Из этого следует, что рекомендуется каждый год изменять место высадки культур.

- Посев лечебных растений. Существует такой способ - лечение почвы путем посева специальных растений. Такими лечебными эффектами обладают следующие растения: крапива, бархатцы, чеснок, полынь, пастушья сумка и т.д.

- Использование калифорнийских червей. Это не очень распространенный способ, но он с каждым годом становится популярным, ведь богатая червями почва дает хороший урожай. Калифорнийские черви (подвид обыкновенных) помогут восстановить почву, выполняя свои полезные функции. Особенно это относится к красным калифорнийским червям-долгожителям. Их достоинства - высокая плодородность и повышенная переваримость различной органики.

- Термическая обработка почвы. Радикальным способом повышения плодородия почвы является тепловая обработка. В процессе происходит уничтожение сорняков и всевозможных вредителей. Главным минусом термической обработки выступает не возможность такой обработки на больших площадях. Обычно метод применяется в теплицах, а также в парниках.

- Внесение органических удобрений. Не нужно списывать со счетов и органические удобрения, в частности внесение в почву навоза, компоста и золы.

- Смешанная посадка культур. Рядом с основными растениями рекомендуется высаживать растение-спутник. При таком соседстве значительно лучше становится общее состояние растений, а также наблюдается уменьшение заболеваемости культур и повышение вкусовых качеств плодов. Данный способ дает возможность избежать истощения почвы. Для этих целей применяют различные растения, такие как розмарин, базилик, ромашка, бархатцы. Их сажают между грядками, рядами, вдоль садовых дорожек и бордюров. Кроме всего прочего, они привлекательны для пчел. Это способствует опылению главных растений, поэтому повышается урожай.

- Отдых для грунта. Для сохранения плодородия почвы делайте передышку почве, ведь она тоже «устает». Этого можно достичь путем не засеивания культур в течение одного года. В такой промежуток времени выполняйте прополку, мульчирование и вносите удобрения. В осенний период такой участок перекопайте так, чтобы верхний слой оказался внизу почвы.

- Посев сидератов. Прекрасным способом повышения плодородности почвы является посев сидератов (растения, в которых зафиксировано повышенное содержание белка, азота, крахмала). Сидератами являются овес, рожь, подсолнечник, а также горчица. Посев выполняют в конце августа или в сентябре, после сбора основного урожая. Сидераты выращивают до начала цветения и потом скашивают, при этом оставляя на зиму на самой почве.