

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СМОЛЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

В.Н. ДЫШКО

УПРАВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ

Курс лекций для аспирантов по направлению подготовки
35.06.01 Сельское хозяйство

Смоленск 2014

УДК 631.452(075.8)
ББК 40.326я73
Д91

Рецензент: С.М. Вьюгин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии и экологии ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА»

Дышко В.Н.

Управление плодородием почв: курс лекций для аспирантов/ В.Н. Дышко.
– Смоленск: ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014.- 87 с.

Рассмотрены современные технологии управления, критерии и модели управления плодородием почв. Направлено на формирование у аспирантов необходимых теоретических знаний и практических умений, базирующихся на научных основах и методах изучения видов плодородия почв и методов его регулирования.

Подготовлено в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство, направленности (профилю) подготовки Агрохимия - очной и заочной форм обучения.

Может быть использовано также аспирантами других направленностей (профилей) подготовки.

Печатается по решению методического совета ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА» (протокол № 07 от «30» июня 2014 г.)

УДК 631.452(075.8)
ББК 40.326я73

©Дышко В.Н., 2014
©ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ВОСПРОИЗВОДСТВА	6
1.1. Виды почвенного плодородия.....	6
1.2. Факторы и условия плодородия почв.....	8
1.3. Воспроизводство плодородия.....	9
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОХРАНЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ	13
2.1. Значение эрозии в деградации почвенного покрова.....	13
2.2. Техногенное и агрогенное загрязнение почв.....	14
2.3. Химизация и мелиорация в системе управления почвенным плодородием.....	16
2.4. Современная теория и методология моделирования плодородия почв.....	18
2.5. Принципы, положенные в основу классификации моделей.....	20
2.6. Управление почвенным плодородием.....	24
2.7. Воспроизводство и регулирование содержания в почвах гумуса.....	25
3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ ЕЕ ПЛОДОРОДИЕ	30
3.1. Минимальная и нулевая обработка.....	30
3.2. Группы почв, пригодные к нулевой обработке.....	33
3.3. Прямой посев.....	40
3.4. Поверхностная мульчированная обработка.....	42
4. РОЛЬ СЕВООБОРОТОВ В ПОЧВЕННОМ ПЛОДОРОДИИ	46
4.1. Причины положительного влияния севооборота на плодородие почвы.....	46
4.2. Влияние севооборота на баланс питательных веществ.....	48
4.3. Типы и виды севооборотов.....	49
5. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫМ ПЛОДОРОДИЕМ	54
5.1. Почва как объект управления при интенсификации земледелия..	54
5.2. Категории и уровни моделей воспроизводства плодородия.....	57
5.3. Информационная база динамических моделей управления плодородием.....	59
5.4. Особенности моделирования долгосрочных программ повышения плодородия.....	60
5.5. Принципы моделирования и выбор моделей.....	63
5.6. Базовая модель плодородия почв.....	64
5.7. Модификации и декомпозиции базовых моделей.....	69
5.8. Математическое обеспечение почвенного моделирования.....	71

5. 9. Многофакторный эксперимент как основа моделирования плодородия почв.....	72
5.10. Использование космических материалов в картографировании компонентов плодородия почв.....	74
6. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ МЕЛИОРИРУЕМЫХ И ЭРОДИРУЕМЫХ ПОЧВ.....	75
6.1. Культуртехнические мероприятия.....	75
6.2. Повышение плодородия мелиорируемых почв.....	78
6.3. Сохранение плодородия почв, подверженных эрозионным процессам.....	81
6.4. Приемы улучшения почв с использованием структурообразователей и мелиорантов.....	84
Литература.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Проблема управлением плодородием почв становится все более актуальной в связи с резким ухудшением их состояния, все возрастающей антропогенной деградацией. В связи с ежегодным отчуждением земель из сельскохозяйственного использования плодородных почв возрастает доля малопродуктивных и трудно осваиваемых почв с более низким потенциальным плодородием. Вследствие очень высокой, превышающей ландшафтно-экологическую сбалансированность распаханности почв луговой степи и лесостепи, а также лимитированности возможностей существенного расширения сельскохозяйственных угодий в других зонах дальнейшее развитие земледелия в стране определяется совершенствованием его структуры и более широким использованием средств интенсификации. Интенсификация земледелия должна быть научно обоснованной, обеспечивающей повышение эффективного и потенциального плодородия почв, то есть получение оптимальных урожаев продукции хорошего качества при прогрессивном росте плодородия почв. Решение этой проблемы возможно посредством совершенствования зональных и адаптивно-ландшафтных систем земледелия, внедрения почвозащитных технологий возделывания культурных растений, основанных на современных принципах систем управления плодородием почв, использованием ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий на мелиорируемых и эродированных почвах, применением комплекса мероприятий по повышению плодородия антропогенно деградированных малопродуктивных почв.

1. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ВОСПРОИЗВОДСТВА

1.1. Виды почвенного плодородия

Важнейшее свойство почвы - плодородие. Природное плодородие почвы определяется совокупностью ее свойств и режимов, всем комплексом экологических условий, на фоне которых развивается почва.

В условиях целенаправленного воздействия человека на почву ее природное плодородие проявляется в форме эффективного плодородия, которое в значительной мере зависит от того, насколько рационально и эффективно используется природное плодородие почв.

В современный период наблюдается чрезвычайно широкое воздействие человека на совокупность природных факторов, определяющих плодородие почв. Это воздействие может иметь как целенаправленный (обработка почвы, внесение удобрений, осушение, орошение, мелиорация солонцов, промывка солей, создание лесозащитных полос и др.), так и нецеленаправленный характер (загрязнение атмосферы и почвы различными химическими соединениями, нарушение гидрологического режима территорий вследствие вырубки лесов, строительства гидротехнических сооружений, нерационального осушения, развитие процессов вторичного засоления, водной и ветровой эрозии и др.).

Все эти воздействия в той или иной степени оказывают положительное или отрицательное влияние на почву сельскохозяйственных и других угодий. Поэтому в настоящее время правильнее говорить не о природном (естественном), а потенциальном плодородии почвы, включая в это понятие как природные, так и приобретенные в результате антропогенного воздействия свойства почв и особенности экологических условий территорий.

Разрабатывая положение о незаменимости и равнозначности факторов жизни растений В.Р. Вильямс писал: «Растения для своей жизни требуют одновременного и совместного наличия или такого же притока всех без исключения условий или факторов своей жизни». Именно способность обеспечивать растения одновременно всеми необходимыми факторами их жизни и лежит в основе понятия о плодородии почв.

Развернутые определения понятий о потенциальном и эффективном плодородии почв разработаны на основе руководящих положений классиков марксизма-ленинизма, анализа и обобщения определений этих понятий, приводимых в литературных источниках.

Под *потенциальным плодородием* мы понимаем способность конкретной почвы, расположенной в определенных климатических условиях и условиях рельефа, обеспечивать растения всеми необходимыми факторами роста, развития и получения биомассы или основной и побочной сельскохозяйственной продукции за счет природных и приобретенных под влиянием хозяйственной деятельности человека свойств почв в многолетнем цикле. Потенциальное плодородие почв определяется воздействием «а растения почвенных и других экологических факторов при сельскохозяйственном использовании почвы (пашня, сенокос, пастбище) или в естественных природных условиях (лес, заповедная степь и т. д.) на фоне средних многолетних климатических условий без непосредственного дополнительного привнесения человеком факторов роста и развития растений (в первую очередь элементов питания и влаги).

Потенциальное плодородие - показатель относительно стабильный, изменяющийся, как правило, медленно. В результате интенсивного мелиоративного воздействия (осушение, промывка солей, солонцовые мелиорации) или других причин (загрязнение токсическими веществами, вторичное засоление) потенциальное плодородие почвы может значительно измениться за короткий срок.

Под *эффективным плодородием* мы понимаем способность конкретной почвы, расположенной в определенных климатических условиях и условиях рельефа, обеспечивать растения всеми необходимыми факторами роста, развития и получения биомассы или основной и побочной сельскохозяйственной продукции в конкретный период времени (фазу развития растений). Эффективное плодородие определяется воздействием на растения почвенных и других экологических факторов на фоне конкретных погодных условий при непосредственном дополнительном целенаправленном привнесении человеком факторов роста и

развития растений (элементов питания, влаги и т. д.) или без привнесения этих факторов. В условиях хозяйственного использования почвы эффективное плодородие зависит от степени мобилизации с помощью агротехнических приемов элементов потенциального плодородия почвы и от эффективности дополнительно привносимых факторов роста и развития растений.

Эффективное плодородие почвы - показатель чрезвычайно динамичный. Оно изменяется как в многолетнем цикле в зависимости от погодных условий разных лет, так и в более коротких циклах в течение вегетационного периода в зависимости от изменений погодных условий в этот период. На сельскохозяйственных угодьях оно зависит и от воздействия человека на почву (обработка, удобрения, орошение и т. д.) в течение вегетационного периода или перед ним. В качестве минимального периода времени для определения уровня эффективного плодородия почвы целесообразно принимать ту или иную фазу развития сельскохозяйственных растений, возделываемых на данной почве.

1.2. Факторы и условия плодородия почв

Эффективное плодородие почвы является важнейшим фактором, определяющим накопление биомассы растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Урожайность (биомасса) растений в естественных природных условиях (без непосредственного воздействия человека) определяется динамикой эффективного плодородия почв в период всего цикла роста и развития растений.

Урожайность сельскохозяйственных культур, получаемая при непосредственном воздействии человека, определяется динамикой эффективного плодородия почв в период всего цикла роста и развития этих культур, а также другими факторами, не влияющими непосредственно на эффективное плодородие почвы (сроки сева, качество посевного материала, сроки уборки урожая, стихийные явления и т. д.). Для достижения высоких урожаев сельскохозяйственных культур необходимо стремиться поддерживать эффективное плодородие почвы на достаточном уровне в течение всего периода роста и развития растений и особенно

в наиболее важные фазы их роста и развития, определяющие величину будущего урожая.

Всякое воздействие человека на почву с целью повышения ее эффективного плодородия представляет собой в то же время и определенное воздействие на потенциальное плодородие почвы. Наиболее это проявляется в условиях орошения и систематического внесения значительных доз удобрений. Орошение призвано повысить эффективное плодородие почвы в первую очередь путем создания нового водного режима, более благоприятного для обеспечения сельскохозяйственных растений влагой, в течение всего вегетационного периода или отдельных фаз их развития. При регулярном орошении этот новый водный режим, действие которого проявляется и в многолетнем цикле, может рассматриваться как один из элементов потенциального плодородия почвы.

Внесение органических и минеральных удобрений призвано повысить эффективное плодородие почвы прежде всего путем оптимизации ее пищевого режима в течение вегетационного периода или отдельных фаз развития растений. При систематическом внесении удобрений в значительных дозах создается новый пищевой режим почвы, действующий в многолетнем цикле, который можно рассматривать как один из элементов потенциального плодородия почвы. В той или иной степени влияют на элементы потенциального плодородия почвы и другие воздействия, направленные на повышение эффективного плодородия почвы.

1.3. Воспроизводство плодородия

Плодородие почвы представляет собой такое ее свойство, которое способно к воспроизводству как в природных условиях, так и в условиях сельскохозяйственного использования почвы. Воспроизводство плодородия почвы в природных условиях и при хозяйственном ее использовании может быть расширенным, простым и неполным.

Понятие расширенного, простого и неполного воспроизводства

применимо, естественно, только к потенциальному плодородию почвы как показателю, изменяющемуся в большинстве случаев относительно медленно. В связи с большой динамичностью эффективного плодородия почвы применение этих понятий для характеристики его изменений вряд ли можно считать целесообразным.

Расширенное воспроизводство плодородия почв - это улучшение совокупности свойств почвы, влияющих на ее плодородие, повышение способности почвы обеспечивать растения факторами, необходимыми для их роста и развития в многолетнем цикле.

Расширенное воспроизводство плодородия почв может осуществляться как постепенно на фоне высокой агротехники, ведения земледелия с интенсивностью баланса питательных веществ свыше 100%, оптимизации агрофизических, агрохимических, биологических свойств почв, так и в короткие сроки при коренных изменениях свойств почв за счет мелиораций.

Все мероприятия, направленные на окультуривание почв, способствуют одновременно расширенному воспроизводству их плодородия.

Простое воспроизводство плодородия почв - это отсутствие заметных изменений в совокупности свойств почвы, влияющих на ее плодородие, в способности почв обеспечивать растения факторами, необходимыми для их роста и развития в многолетнем цикле. При простом воспроизводстве плодородия почв ведение земледелия происходит на фоне уравновешенной (100%-ной) интенсивности баланса питательных веществ.

Неполное воспроизводство плодородия почвы - это ухудшение свойств почвы, влияющих на ее плодородие, снижение способности почвы обеспечивать растения факторами, необходимыми для их роста и развития в многолетнем цикле.

Неполное воспроизводство плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании представляет собой широко распространенное явление на земном шаре, имеющее место и в нашей стране. Это явление имеет безусловные негативные последствия в природном и социально-экономическом

отношении. Но процесс снижения потенциального плодородия почвы не всегда очевиден.

При резком снижении потенциального плодородия почвы в результате интенсивного развития эрозии, вторичного засоления, других ясно выраженных негативных природных и антропогенных процессов обычно снижается и эффективное плодородие почвы. В этих случаях снижение потенциального плодородия почвы, неполное его воспроизводство в процессе хозяйственного использования бывает очевидным.

Однако во многих случаях эффективное плодородие почвы может длительное время сохраняться и даже увеличиваться на фоне снижающегося потенциального ее плодородия. В условиях развивающейся химизации и механизации сельскохозяйственного производства, внедрения новых сортов культур нередко удается получать вполне удовлетворительные урожаи и при неполном воспроизводстве плодородия почв.

Процессы медленного снижения содержания в почве гумуса, ухудшения его агрономически ценных качеств, неблагоприятных изменений микрофлоры почв, уплотнения почв тяжелыми сельскохозяйственными машинами и орудиями, многие другие отрицательные явления обычно не сразу сказываются на эффективном плодородии почвы и величине урожаев. Эти явления представляют собой не всегда очевидный и поэтому особенно опасный процесс «износа» важнейшего средства сельскохозяйственного производства - почвы и ее плодородия.

Постепенное снижение потенциального плодородия почвы в результате неполного его воспроизводства в конечном счете приводит к тому, что для поддержания эффективного плодородия требуется все более массивное и дорогостоящее воздействие человека на почву, которое нередко приводит к дальнейшему снижению ее потенциального плодородия.

В развитии воспроизводства плодородия почв за несколько последних десятилетий можно наметить два основных периода. До начала массового применения удобрений (примерно до середины шестидесятых годов),

известкования почв в широких масштабах, применения на значительных площадях других мелиоративных мероприятий на большей части сельскохозяйственной территории страны, по-видимому, преобладала тенденция неполного воспроизводства плодородия почв. В почвах постепенно уменьшались запасы органического вещества, подвижных форм элементов питания растений (вследствие недостаточного внесения удобрений, эрозии и других причин), ухудшались их водно-физические свойства.

Снижение плодородия сильнее проявилось на бедных дерново-подзолистых почвах. За 70-80 лет дерново-подзолистые почвы потеряли 1,2-1,4% гумуса. По-видимому, это явилось одной из основных причин того, что урожайность зерновых культур на территории дерново-подзолистой зоны европейской части страны в середине прошлого столетия была даже ниже, чем в начале века, несмотря на то что экономический потенциал сельского хозяйства за этот период заметно вырос.

Снижение плодородия происходило и на черноземных почвах, хотя в связи с их потенциальным богатством органическим веществом и элементами питания растений оно не проявилось столь явно.

В современный период можно говорить о совместном проявлении двух основных тенденций в воспроизводстве плодородия почв. Наряду с тенденцией постепенного улучшения ряда свойств почв, определяющих их плодородие, все еще сохраняются (или даже развиваются) тенденции ухудшения некоторых других важных свойств почв или стабилизации этих свойств на уровне, далеком от оптимального.

Неполное воспроизводство плодородия почвы могло быть в известной мере оправдано на более ранних стадиях развития социализма, в период восстановления разрушенного войной хозяйства, когда не было условий для крупных вложений в сельскохозяйственное производство. В эти периоды необходимо было увеличивать производство сельскохозяйственной продукции без достаточного количества минеральных удобрений на фоне слабого развития механизации в условиях невысокой агротехники.

В современный период развитого социализма наблюдающиеся тенденции снижения потенциального плодородия почв следует считать совершенно неоправданными и нетерпимыми. Неполное воспроизводство плодородия почвы ни в коей мере не является объективной природной закономерностью. В условиях высокого уровня развития производительных сил оно свидетельствует о нерациональном использовании почвы, о стремлении получить сиюминутные выгоды без должной оценки серьезных негативных последствий.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОХРАНЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ

2.1. Значение эрозии в деградации почвенного покрова.

Суммарная годовая потеря почвы от смыва на эрозионно опасных землях составляет в среднем 2 мм в год. В Нечерноземной зоне России при интенсивности смыва 12 т/га может быть смыт слой почвы до 1 см. В районах проявления ливневой эрозии смыв почвы от одного ливня может составить 2,5-6,5 см. Потеря наиболее плодородного гумусового горизонта и вынос в процессе эрозии тонкодисперсной фазы почвы приводит к тому, что она безвозвратно утрачивает огромное количество элементов питания.

Параллельно с потерей гумусового слоя и питательных элементов в результате эрозии существенно изменяются физико-химические и водно-физические свойства почв. Так, с увеличением их эродированности увеличивается плотность, снижается структурность, сумма водопрочных агрегатов, влагоемкость, порозность, диапазон активной влаги и т. д. С увеличением смывости ухудшается водный режим почвы. Особенно резко снижаются запасы продуктивной влаги в эродированных почвах южных склонов. По-иному складывается на эродированных почвах и тепловой режим. Для них характерны более частые и значительные колебания температуры. В эродированных почвах снижается содержание валового гумуса, азота, фосфора и калия.

Эрозия приводит к изменению качественного состава гумуса, в котором

отношение гуминовых кислот к фульвокислотам сдвигается в пользу последних. В гумусе пахотного слоя несмытых почв преобладают в основном группы гуминовых и фульвокислот, в сильносмытых – гуминовые кислоты, связанные с полуторными окислами, и подвижные фульвокислоты.

Уменьшение запасов гумуса и азота, менее благоприятный фракционный состав гумуса и ухудшение физических свойств эродированных почв обуславливают пониженную их биологическую активность. Снижается общее количество микроорганизмов и изменяется качественный состав микрофлоры.

Снижение плодородия почв приводит к потере урожая сельскохозяйственных культур: на слабосмытых почвах – 15-20%, среднесмытых – до 30-40%, сильносмытых – в 2-2,5 раза.

Масштабы разрушительного действия эрозии определяют важность разработки и внедрения в практику сельскохозяйственного производства почвозащитных мероприятий. Максимальная эффективность в борьбе с эрозией почв обеспечивается комплексом мероприятий: правильной противоэрозионной организацией территории, соответствующей структурой посевных площадей и типов севооборотов, дифференцированной системой почвозащитных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, применением специализированных противоэрозионных мероприятий (водоотводных борозд, валов-террас и т. д.) и соответственно разработанной дифференцированной системой применения удобрений.

Для обеспечения эффективной защиты земель от эрозии необходимы планомерный перевод земледелия на почвозащитную основу, масштабный переход на контурно-мелиоративное и ландшафтное земледелие, коренная пере-стройка организации противоэрозионных работ.

2.2. Техногенное и агрогенное загрязнение почв

В последние годы к разрушающему воздействию на почвенный покров эрозии, переуплотнения, засоления и др. добавился новый мощный фактор

деградации плодородия – технотенное загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами: марганцем, хромом, свинцом, цинком, медью, никелем, кобальтом, кадмием, фтором, мышьяком, окислами серы, азота.

Накопление в почвах химических элементов и их соединений в количествах, резко превышающих норму, становится все более частым явлением. Возникновение зон аномального концентрирования связано с промышленностью, сельским хозяйством, отходами городов и другими видами активной деятельности человека. При сжигании угля и нефти в почву, воду и пищу поступают огромные массы различных химических элементов и их соединений. До двух третей этих поступлений остается в шлаках, золе, образуя локальные аномалии в составе почв и вод. Остальные в виде аэрозолей и газов распределяются в окрестностях (на 30-100 км). В известной степени, каждый город или индустриальный центр является причиной возникновения крупных биогеохимических аномалий.

В ряде регионов РФ с большой плотностью действующих предприятий - загрязнителей пылегазовые выбросы, перекрывая друг друга, привели к формированию техногенных биогеохимических провинций со сверхнормативным содержанием в почве тяжелых металлов и металлоидов в радиусе 5-6 км от эпицентра предприятия. Уровень загрязненности в этой зоне превышает естественное содержание элементов в 2-5 раз и более. Последствия: загрязненные почвы, больные растения и животные. Содержание элементов в пищевых продуктах оказывается превышающим предельно допустимые концентрации (ПДК) в несколько раз.

Вовлечение в хозяйственную деятельность огромных объемов углеводов и продуктов их сгорания породило специфические проблемы деградации почв. Десятки тысяч гектаров земли вокруг нефтяных скважин залиты нефтью и промысловыми высокоминеральными водами. Эти территории малопродуктивны, очень медленно восстанавливают продуктивность и служат источником деградации окружающих почв. При сгорании угля и нефтепродуктов в атмосферу, почву и водную среду поступают

полициклические ароматические углеводороды и бензпирен. Поэтому массивы почв, отравленные канцерогенными продуктами сгорания углеводородного топлива, не должны использоваться для производства продовольствия.

К настоящему времени удовлетворительной степени разработанности достигла проблема оценки загрязнения почв токсичными элементами техногенных выбросов. Исследования элементов-загрязнителей осуществляются в рамках определения антропогенных биогеохимических аномалий, т. е. установления ареалов с токсично высокими количествами микроэлементов и разработкой мер по детоксикации почв.

2.3. Химизация и мелиорация в системе управления почвенным плодородием

В процессе химизации решается задача регулирования питания растений в компенсирующем режиме в звеньях, где оно наименее сбалансировано: оптимизация фосфорного питания зерновых, размещаемых по пару, азотного - на фонах безотвальной и минимальной обработки, особенно при оставлении соломы, весенние подкормки озимых культур и многолетних трав и т. д.

Выбирая оптимальное решение в зависимости от почвенно-климатических условий и обеспеченности ресурсами, важно иметь в виду, что чрезмерная концентрация удобрений на отдельных полях так же нерациональна, как и распыление их по полям, не обеспеченным защитными мероприятиями и высокой культурой земледелия в целом.

Известно, что чем выше продуктивность, тем большую роль приобретает сбалансированность всех биогенных макро- и микроэлементов, т. е. сужается диапазон допустимых отклонений от физиологической нормы. Поэтому при высокой урожайности нужен качественно иной уровень регулирования эффективного почвенного плодородия.

Распашка пойм, их осушение и орошение в сочетании с зарегулированием ряда рек коренным образом изменили условия почвообразования, режимы и свойства самих почв. Замена разнообразной

естественной растительности еще более сузила способность пойменных ландшафтов к саморегуляции. Возникли агроэкосистемы интенсивного типа, способные нормально функционировать лишь при условии непрерывного и многостороннего управления со стороны человека.

Водная мелиорация, устраняя недостаток или избыток влаги в почве, одновременно может ухудшить ее другие агрономически важные свойства.

Влияние орошения на изменение свойств и плодородия почв проявляется по-разному, в зависимости от исходных почвенных и гидрогеологических условий орошаемых территорий, качества поливных вод, инженерного уровня и состояния оросительных систем, общей культуры орошаемого земледелия. Поэтому в условиях последнего имеются как примеры длительного сохранения благоприятных свойств и режимов почв, так и примеры значительных негативных изменений свойств почв и их режимов, приводящих к снижению почвенного плодородия.

Важные причины негативных изменений почв при орошении следующие: избыточные поливные нормы, большие потери воды в подводящей и распределительной сети и на полях, отсутствие искусственного дренажа или его неудовлетворительное состояние. Это приводит к развитию неблагоприятного анаэробного режима в почвах, подъему грунтовых вод, вторичному засолению, заболачиванию, осолонцеванию.

Для ослабления и нейтрализации негативных последствий орошения необходимы комплексы различных мероприятий, совершенствование дренажа на действующих оросительных системах, устройство современных дренажных систем на территориях нового орошения. Важнейшее значение имеет борьба с потерями поливных вод на фильтрацию в ирригационной сети, недопущение избыточных норм полива, равно как и поливов водами с минерализацией выше критической.

Влияние осушения на изменение свойств и плодородия почв проявляется по-разному, что во многом связано как с качеством осушительной

мелиорации, так и с характером использования осушаемых почв. Имеется немало примеров, когда осушаемые торфяные и минеральные почвы характеризуются благоприятным комплексом свойств и высоким плодородием. В то же время нередко наблюдается ухудшение свойств почв в результате их осушения.

На торфяных почвах глубокое понижение уровня грунтовых вод при мелиорации (глубже 100-140 см) создает благоприятные условия для развития активных биохимических процессов и быстрой сработки торфа, и его распыления в верхних горизонтах почвы, особенно при ее использовании под пропашные культуры. При быстрой минерализации торфа теряется большое количество азота в нитратных формах, кальция, магния.

При проведении мелиоративных работ на минеральных почвах нередко нарушается их гумусовый горизонт. Даже если перед закладкой дрен он сгребается в бурты и потом разравнивается по мелиорированной площади, плодородие такого гумусового слоя все же снижается по сравнению с исходным уровнем. Для таких почв особенно важно систематическое внесение органических удобрений.

2.4. Современная теория и методология моделирования плодородия почв

В почвоведении модели служат основной формой представления информации. Основная функция любой модели заключается в том, что она содержит сведения о характеристиках объекта, существенных именно для решения данной задачи. Модель объективно воспроизводит главные свойства прототипа, но не может отразить их полностью. В результате фактически на одной и той же информационной базе могут создаваться противоположные прогнозы. Основу классификации моделей могут быть положены различные принципы. В практике часто можно рационально типизировать модели по категориям объектов или решаемых задач, при этом критерии выделения этих классов могут меняться в зависимости от целей исследований.

Наиболее целесообразна классификация моделей по форме представления

информации. Группа материальных моделей традиционна в почвоведении и агрономии: почвенные вегетационные опыты, изучение почвенных колонок, насыпные лизиметры и т. д. Почвенные карты и макеты, воспроизводящие пространственно-геометрические характеристики почвенного покрова, представляют собой геометрически подобные модели.

Аналоговые изоморфные модели также используются в почвоведении, например, в опытах реальная почва заменяется песком или другими веществами для изучения процессов передвижения влаги; водные и песчаные вегетационные опыты с удобрениями и т. д. Типизация внутри класса идеальных моделей основана на степени формализации. Неформализованные (концептуальные) модели составляют фундамент науки.

Следующий подкласс охватывает большое количество разнообразных частично формализованных моделей. Формализация информации может выражаться многообразными способами (графически в виде диаграмм, схем, рисунков, текстуально в форме правил, рекомендаций, инструкций, нормативных актов и т. д.). Общим является наличие в этих моделях неформального начала, без которого их информативность резко снижается.

Переход к подклассу полностью формализованных моделей характеризуется, наряду с абстрактным представлением всех компонентов структуры, предельной жесткостью математического языка. Из данного подкласса выделяют ряд групп, среди которых наибольшее значение имеют следующие:

- информационные модели, реализуемые на ЭВМ, весьма многочисленны и включают, в частности, банки данных, АСУ и информационно-поисковые системы. Для них типичны сравнительно несложные алгоритмы, возможность сортировки больших массивов данных и узкая специализация;

- математические модели являются универсальным средством моделирования. Подобные модели требуют очень детального математического описания основных элементов моделируемого объекта, что далеко не всегда

применительно к другим разделам почвоведения;

- имитационные модели. При решении задач системного уровня сложности особенно перспективны имитационные эксперименты. Эксперимент состоит из многократных расчетов на ЭВМ по заданной модели при варьировании входных данных. Имитационное моделирование облегчает проверку рабочих гипотез.

2.5. Принципы, положенные в основу классификации моделей

Систематизация моделей возможна и на основе других принципов, а не только по форме представления информации и способу ее реализации. Применительно к плодородию почв используют иную классификацию. На верхнем иерархическом уровне модели плодородия почв (МПП) подразделяются на модели управления и информационные. Последние, свою очередь, делятся на модели состояния плодородия (статические) и модели прогноза (динамические).

Основой системы моделей служат модели состояния, отражающие в параметрической форме совокупность структурно-функциональных свойств какой-либо почвы, соотнесенную с фактическим или заданным уровнем ее плодородия (концепция базовых моделей). Эти модели могут выражать прошлое, текущее или будущее (желаемое, ожидаемое или планируемое) состояние почв. При сохранении главной целевой функции - формализованного представления почвенного плодородия как интегральной характеристики - модели этого класса могут быть чрезвычайно многообразны по форме, набору параметров, математическому аппарату и т. д. Помимо непосредственного практического использования этих моделей, они служат базой для построения двух других классов моделей - прогноза и управления.

Модели управления плодородием подразделяются на 5 подклассов: окультуривания, коренной мелиорации, рекультивации, оперативного управления на поле, оптимизации размещения культур. Эти направления решают общую задачу специфическими технологическими средствами. Они

отличаются также по радикальности изменений фундаментальных почвенных свойств и режимов и по временной динамике этих изменений.

Выбор объектов на основе содержательного неформального анализа является важнейшим этапом при моделировании почвенного плодородия. Он определяется конкретными целями и характером решаемых задач. Каждый объект имеет свои достоинства и недостатки, обусловленные иерархическим уровнем моделируемых объектов (от региона или зоны до контура или поля). Стратегия разработки МПП основана на двух главных принципах:

1. Построение наиболее простых статических моделей первого поколения традиционных терминах почвоведения с их последующим усложнением, детализацией и математизацией. В их основе лежат результаты обработки статистических данных и данных экспертиз.

2. Обеспечение составления системы простых моделей по регионам, чтобы в дальнейшем можно было их применять к более мелким таксонам почв, типам агроценозов, системам технологий и т. д.

Одним из первых этапов этой программы является разработка региональных моделей. Под региональной моделью плодородия почв понимается территориальный эталон почвы или группы близких по свойствам почв. Этот эталон характеризуется региональными почвенно-климатическими особенностями и состоит из взаимосвязанных блоков. Их содержание раскрывается набором показателей состава, свойств и режимов почвы; оценки почвенного плодородия и агроклимата, а также мероприятий агромелиоративного комплекса.

Собственно модели плодородия почв (МПП) могут быть ориентированы на решение задач разного пространственного масштаба, что сказывается в выборе элементарного объекта моделирования. Он зависит от планируемого ареала применения разрабатываемой модели и характера ее использования.

Региональные модели могут успешно использоваться для решения многих крупномасштабных задач стратегического плана. Локальные модели отличаются меньшим ареалом экстраполяции, большей привязкой к специфическим почвенным таксонам, иным набором параметров. Региональную модель можно представить как

обобщение локальных моделей.

Для локальных МПП классификационными признаками часто служат степень эродированности, мощность гумусового горизонта, литологическая основа, особенности гидрологического режима, фактический уровень плодородия, механический состав, комплексность почвенного покрова и т. д. Цель такой конкретизации - повышение адресности и конструктивности моделей. Интенсификация земледелия делает особенно важным максимальный учет индивидуальных особенностей каждой конкретной почвы, которые призваны отразить локальные МПП.

Но реализация потенциального плодородия почв зависит также от биологических и технологических особенностей возделываемых культур. Поэтому при выборе объектов локальных МПП обязателен учет специфики отдельных агроценозов и применяемой технологии.

Необходимость разработки отдельных МПП для полевых культур, многолетних насаждений, культурных лугов и пастбищ в одних и тех же почвенных условиях обусловлена не только различиями в потреблении и балансе элементов питания или разным водопотреблением культур в его сезонной динамике. Огромное значение приобретает также разная мощность корнеобитаемого слоя, что должно найти отражение в МПП.

Столь же очевидна необходимость учета в локальных МПП неодинаковой требовательности культур к отдельным питательным элементам, реакции среды, физическим свойствам почвы и подпочвы и т. д. При этом чем выше уровень урожайности, тем большее число почвенных факторов приходится включать в МПП.

Наряду с региональными и локальными существуют глобальные МПП, охватывающие всю территорию страны, континента и т. д. К таким моделям относятся различные виды районирования этих территорий. Глобальные МПП позволяют управлять плодородием на самом высоком уровне через планирование распределения ресурсов по крупным регионам. Но они могут оказаться слишком грубыми для управления на региональном и локальном уровнях. Именно

локальные МПП, жестко привязанные к ограниченной территории с однородными почвенными условиями, к определенным наборам возделываемых культур и технологическим системам, являются эффективной базой для научного управления почвенным плодородием на уровне поля.

Активный эксперимент в целях моделирования должен дополняться пассивным. При этом в его ходе проводится регистрация предусмотренных планом значений входных и выходных сигналов, а также внутренних параметров почвы или агроценоза. Последующее обобщение эмпирических данных при условии правильного выбора вариантов пассивного эксперимента может дать достоверные сведения для конструирования моделей.

Наибольшее распространение среди методов пассивного эксперимента получил площадочный (метод учетных площадок). Он состоит в учете урожая возделываемых культур и свойств почв на микроплощадках, выделенных в пределах одинаковой почвенной разновидности, на посевах преимущественно одного поля с однородной агротехникой. Этот метод дает возможность в относительно короткие сроки разработать систему показателей ответной реакции растений на различные условия произрастания, выявить коррелятивные связи между отдельными морфобиометрическими показателями и продуктивностью растений, обосновать рациональный перечень показателей свойств почв, имеющих первостепенное значение для диагностики плодородия.

Как показывают результаты многочисленных опытов, действие различных факторов взаимообусловлено, и часто оптимальное значение одного свойства определяется уровнем влияния других свойств. В этих условиях удовлетворительные результаты могут быть получены с помощью стандартных методов множественного корреляционно-регрессивного анализа, применение которого возможно как для обработки массового экспериментального материала, так и для данных многофакторных полевых опытов.

Разработка множественной корреляционно-регрессивной модели (уравнения регрессии), объективно отражающей зависимость продуктивности почв от их свойств, позволяет установить оптимальные значения отдельных свойств

почв и их комплекса, оптимизировать уровень одного показателя при заданном урожае и величине показателей других свойств.

При построении значительной части статических МПП на эмпирической основе активных и пассивных экспериментов используется метод идентификации.

2.6. Управление почвенным плодородием

Под управлением плодородием почв понимается целенаправленное изменение его составляющих для достижения желаемого (планируемого) функционального состояния. Научной основой служит разработка теоретических принципов и методов их материальной реализации, а информационной базой - количественное выражение связей в системе почва-технология-продуктивность. Прагматическая задача управления - определение почвенных параметров, требующих изменений до заданных значений и необходимых для этого технологических приемов.

Модели прогнозирования близки моделям управления, так как научное управление всегда предпочитает оценку возможных будущих состояний системы. Выделение класса моделей прогноза основано на том, что здесь изначально отсутствует заданная цель (планируемое состояние почвы), которая обязательна в моделях собственно управления.

Моделирование управления плодородием предполагает наличие трех информационных блоков, характеризующих соответственно: планируемое состояние почвы, ее фактическое или исходное состояние, количественные характеристики внутренних и внешних связей.

Наиболее простые модели управления плодородием основаны на жестких детерминированных схемах типа: входные показатели - плодородие почвы - выходные показатели. Такие подходы предполагают полную определенность всех будущих состояний системы, однозначную реакцию почвы на те или иные воздействия. Они могут быть оправданы, если характеризуются сравнительно простыми свойствами или процессами, притом в

ограниченном временном интервале. В действительности соответствие между входными и выходными сигналами в огромной степени корректируется блоком обратной связи, проявление которой варьируется в очень широком диапазоне в зависимости от свойств конкретных почв.

В основе гомеостатического регулирования почв и агроценозов лежит сложное сочетание жестко детерминированных и стохастических связей, принцип множественного дублирования основных функций. Поэтому реакции почвы на внешние возмущения или управляющие воздействия неизбежно присущ элемент неопределенности. Фактически мы часто имеем дело с принципом «черного ящика», когда более или менее надежно контролируются в основном входные и выходные параметры, а внутренние механизмы во многом остаются непознанными.

Надежность и эффективность управления определяется особенностями отдельных почв. Наиболее простые системы типичны для малогумусных супесчаных почв, чем объясняется их более быстрая и однозначная реакция на внешние сигналы любой природы. Это облегчает программирование плодородия, но вместе с тем делает эти почвы чрезвычайно чувствительными ко всем отклонениям от оптимума внешних условий и характеристик самих почв.

2.7. Воспроизводство и регулирование содержания в почвах гумуса

Роль гумуса в почве. Роль гумуса чрезвычайно многогранна, но может определяться четырьмя важнейшими, в достаточной мере обобщенными положениями. Он является аккумулятором солнечной энергии, ежегодно преобразуемой аутоотрофными организмами и этим напоминает нефть, каменный уголь, торф. Но, в отличие от последних, гумус постоянно служит источником энергии для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и растительности, т. е. определяет интенсивность биохимических процессов в почве.

В гумусе сосредоточено 95-98% почвенного азота, 80% серы, до 60% фосфора (особенно в почвах черноземного типа), значительные количества кальция, калия, магния и других элементов. В процессе трансформации гумуса (распада - синтеза) они освобождаются и становятся доступными для растений.

Благодаря наличию большого количества функциональных групп гумус обладает высокой емкостью катионного обмена. В связи с этим гумус обладает большой водоудерживающей способностью и буферностью, что особенно важно для почв легкого гранулометрического состава. Коллоидная природа гумуса, и прежде всего его гуминовой составной части, в значительной мере определяет физические свойства почвы, усиливая способность к агрегатированию механических частиц и тем самым, совместно с кальцием, создавая водопропрочную структуру верхних горизонтов, определяя плотность их сложения, водно-воздушный режим.

Гумус является производным растительных и отчасти животных организмов. Следовательно, для существенного накопления гумуса почва (порода) должна обладать определенным уровнем плодородия, чтобы удовлетворять потребности растений в условиях роста и развития. Такие условия создаются общим химическим и физическим составом материнской породы, климатом и, в частности, гидротермическим ингредиентом. В дальнейшем, по мере накопления гумуса, возрастает его положительная роль в повышении производительности почвы, а возросшая производительность почвы, в свою очередь, благоприятствует увеличению запасов гумуса.

Введение почв в культуру земледелия, повлекшее за собой замену растительности и ежегодное отчуждение большей части ее биомассы, резко изменило процессы гумификации, привело, в большинстве случаев, к снижению со-держания запасов гумуса. Даже такие богатые и буферные почвы, как черноземы типичные мощные, под влиянием распашки и сельскохозяйственного использования подвержены существенному обеднению. При этом в первые десятилетия обеднялся в основном пахотный слой, а в последующие - весь профиль почвы.

Исходным материалом для образования гумуса в пахотных почвах являются корневые и послеуборочные остатки, органические удобрения. Возделывание сельскохозяйственных культур только при минеральной системе удобрения, с большим отчуждением основной и побочной продукции, приводит

к снижению его содержания. Применение органо-минеральной системы удобрения с низкими нормами навоза или компостов также не обеспечивает бездефицитного баланса гумуса.

Установлено, что из общей массы органической материи, поступающей в почву, 70-80% разлагается до конечных продуктов (вода, углекислый газ и зольные элементы) и только 20-30% превращается в относительно устойчивые гумусовые вещества.

Закрепление гумуса в почве осуществляется на основе образования органо-минеральных комплексов. Механизм закрепления заключается в сорбции органических коллоидов на поверхности минеральных частиц в виде пленок. При этом гумусовые пленки выполняют определенную защитную роль от разрушения коллоидной фракции почв. Значительную роль в образовании органо-минеральных соединений играет химическая и другие формы связи.

Использование почв в полевых севооборотах без удобрения культур или их удобрение только минеральными приводит к неизбежному превалированию процессов распада над синтезом гумуса, что, в свою очередь, приводит к снижению его содержания и запасов. Ежегодная минерализация гумуса под культурами сплошного сева при урожае зерна 10-30 ц/га составляет 0,5-1,0 т/га как в черноземах, так и в дерново-подзолистых почвах. Но под пропашными культурами распад гумуса существенно увеличивается и достигает 1,3-1,5 т/га в черноземах и 1,5-1,8 т/га в дерново-подзолистых почвах. В связи с этим общий баланс гумуса в почвах при различных севооборотах и системах удобрения, в различных климатических (и погодных) условиях формируется по-разному и однозначных параметров гумификации и распада не существует.

Органическая и органо-минеральная система удобрения с 10 т/га навоза обеспечивают бездефицитный, с явно выраженной тенденцией к положительному, баланс гумуса. На фоне известкования органическая и органо-минеральная системы с умеренными нормами NPK обеспечивают расширенное его воспроизводство. Темпы воспроизводства возрастают при

увеличении нормы навоза до 12,5 т/га севооборотной площади.

Ежегодные параметры минерализации (потерь) гумуса ориентировочно могут быть определены по выносу азота культурами севооборота. При этом методика балансовых расчетов предусматривает использование 50% почвенного азота растениями при любой системе удобрения.

Сравнение темпов минерализации с теоретически возможными и фактически происходящими темпами новообразования гумуса, а также с общими его запасами в супесчаных разновидностях дерново-подзолистых почв позволяет определить период его полного обновления, который не превышает 50 лет.

Накопительный эффект прироста гумуса в супесчаной почве рельефнее прослеживается за более длительный период, т. е. за две ротации.

Некоторые зарубежные исследователи на основе анализа экспериментальных данных считают, что всякая почва, содержащая 2% гумуса, может обеспечить высокое эффективное плодородие. Отечественные исследователи считают оптимальными несколько другие параметры содержания гумуса. Хорошо окультуренная дерново-подзолистая супесчаная почва в Северо-Западном регионе РФ должна содержать 3-5%, 1,5-2,0% в песчаных и 2,0-3,5% в супесчаных. В центральных областях Нечерноземья оптимальным содержанием гумуса в дерново-подзолистых суглинистых почвах считается 2,5-2,6%.

Содержание гумуса в почвах одного и того же гранулометрического состава сильно зависит от широты местности, и оптимальные параметры его содержания также должны быть различны. Это подтверждается фактической гумусированностью почв в различных регионах Нечерноземья и рекомендуемыми оптимальными уровнями содержания гумуса.

При оптимальном содержании гумуса и достаточном количестве элементов питания, оптимальной реакции почвенного раствора и благоприятном увлажнении урожаи озимых зерновых составляют 5,0-6,0 т/га,

картофеля – 25,0-30,0 т/га, силосной массы кукурузы – 45,0-50,0 т/га.

Многочисленные результаты исследований трансформации органического вещества в дерново-подзолистых почвах, используемых в качестве пахотных земель, свидетельствуют о том, что баланс гумуса в них складывается с дефицитом, только высокими нормами органических удобрений может быть достигнут положительный баланс гумуса и оптимальные параметры его содержания в почвах. Для этого их необходимо вносить в нормах 14-20 т/га севооборотной площади. Такие нормы органических удобрений в короткие сроки дадут возможность достичь оптимальных уровней гумусированности почв.

Почва – сложная биологическая система, в которой основным фактором почвообразования, самоочищающей способности и круговорота веществ является ее микрофлора.

Благодаря огромной поверхности соприкосновения с почвой, мощному ферментативному аппарату и разнообразным продуктам метаболизма почвенная микрофлора является основной действенной силой в накоплении питательных и биологически активных веществ в почвах, в инактивации попадающих в нее пестицидов.

К числу важнейших факторов биологизации земледелия, а также мощных регуляторов почвенно-микробиологических процессов следует отнести дополнительное введение в почву органического вещества, в том числе органических удобрений, сидератов, растительных остатков в виде побочной продукции, расширение посевов многолетних бобовых трав, обладающих мощной корневой системой. Это обеспечивает почвенную микрофлору энергетическим мате-риалом, активизирует процессы синтеза гумусовых веществ, биологическую фиксацию атмосферного азота природными популяциями микроорганизмов, усиливает фосфатмобилизующую деятельность почвенной микрофлоры, снижает фунгистазис почв, заболеваемость растений корневыми гнилями, усиливает биodeградацию накапливаемых в почве пестицидов.

Альтернативой применения в земледелии минерального азота является использование экологически чистого и экономически дешевого биологического азота, образуемого в симбиотических системах с бобовыми и ассоциациями микроорганизмов с небобовыми культурами. Пополнения азотного фонда почвы за счет биологического азота можно достигнуть путем использования препаратов азотфиксирующих микроорганизмов, сочетая их с более рациональным внесением азотных удобрений.

Таким образом, рациональное использование органических удобрений, сидератов и микробиологических факторов в земледелии позволяет значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства, обеспечить его стабильность и природоохранный характер.

3. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ ЕЕ ПЛОДОРОДИЕ

3.1. Минимальная и нулевая обработка

В последнее время интенсивная обработка почвы вызвала ряд отрицательных явлений экономического и экологического порядка. Среди них ветровая и водная эрозия почв, непроизводительные расходы влаги и питательных веществ, большие энергетические (до 35%) и трудовые (до 25%) затраты на обработку, уплотнение подпахотного горизонта почвы тяжелыми сельскохозяйственными машинами и орудиями. Обработка почвы с использованием плуга, который полностью переворачивает почву, вследствие чрезмерного рыхления (объем больших пор более 60%) вызывает разрушение структуры почвы, которая становится затем чрезмерно неустойчивой. Обработка почвы плужными орудиями разрушает поры и туннели, созданные беспозвоночными в почве, изменяет способность водоудержания, обмена газом и питательными веществами в почве.

В процессе подготовки почвы при возделывании зерновых культур – от посева, ухода за посевами и до уборки урожая – различные машины проходят по полю от 5 до 15 раз. В результате площадь следов от колес

(гусениц) тракторов, транспортных и уборочных агрегатов составляет 100-200% от площади поля. Приемы традиционных сельскохозяйственных технологий, такие как сжигание растительных остатков и механическая обработка почвы с оборотом пласта, используемые для борьбы с сорняками и подготовки семенного ложа, пагубно воздействуют на окружающую среду. При этом в атмосферу выделяется диоксид углерода (CO₂) и сокращается объем органического вещества в почве, все это приводит к глобальному потеплению.

Для частичной или полной замены плужной обработки почвы применяются новые ресурсосберегающие системы обработки почв – минимальная и нулевая.

Минимальная обработка почвы – это агротехническая система, при которой достигается наименьшее число проходов тракторных агрегатов и других машин по полю в течение всего технологического процесса возделывания культуры.

Нулевая обработка почвы – частичная или полная замена некоторых видов механических обработок внесением гербицидов для уничтожения сорняков. Этими обработками достигается: повышение противозерозионной устойчивости почв; замедление минерализации гумусовых веществ, особенно в районах со слабо гумусированными почвами; улучшение использования послеуборочных остатков; снижение распространения болезней в специализированных севооборотах.

При минимальной и нулевой обработках исключается ряд почвообрабатывающих операций в связи с использованием высокоэффективных гербицидов, появляется возможность проведения нескольких технологических операций за один проход агрегата, осуществляется прямой посев без предпосевной обработки почвы, а также заменяется традиционная глубокая обработка почвы мелкой, поверхностной.

При нулевой обработке почвы затраты труда сокращаются в 2,5-3 раза, расход топлива, связанный с выполнением операций, – в 5-6 раз. В США

подтвердили, что только за 19 дней после обработки почвы освобождение CO₂ вследствие микробиологического разложения органических веществ при вспашке почвы примерно на 80% выше по сравнению с почвами, на которых применялся прямой посев в мульчированный слой.

Наиболее широко минимальная и нулевая обработка применяется в аридной и полуаридной зонах под сорго, кукурузу, сою на эрозионноопасных почвах легкого гранулометрического состава, где приняты короткие культурообороты: соя – сорго, кукуруза – соя и др.

Следует отметить, что нулевая система обработки пахотных земель пригодна лишь для определенных типов почв, например, во влажных районах тропиков, где получают два-три урожая основной культуры в год. Под первую

культуру проводят плужную (чизельную) обработку, а под последующие – поверхностную или нулевую (прямой посев).

Техника обработки почвы плоскорезами, рыхление без оборота пласта с оставлением на поверхности стерни применяется в засушливых районах, где в зимний период выпадают атмосферные осадки в виде снега и где почвы подвержены ветровой эрозии. При глубоком рыхлении с оставлением на поверхности поля неизмельченной стерни в зимнее время накапливается больше влаги (в умеренной зоне – снега), но в засушливый период (в умеренной зоне – летом) испарение с поверхности поля значительно возрастает.

Внедрение в производство техники для непосредственного посева в не-вспаханную почву (объединив вспашку и посев в одну операцию) уменьшает водную и ветровую эрозию, повышает впитывание воды, снижает ее сток и уплотнение почвы. В последующем стали применять чизелевание, обработку почвы дисковыми орудиями в засушливых районах; ленточную обработку почвы только на месте будущих рядков; обработку склонов по горизонталям. В полувлажных районах применяется обработка культиваторами, где посев проводят на дно глубоких борозд, гребни и борозды препятствуют ветровой

эрозии, уменьшают сток воды и накапливают влагу.

Теоретической основой ресурсосберегающих систем обработки почвы служат закономерности изменения агрофизических свойств и плодородия почвы под действием интенсификации земледелия и природных факторов. В современном интенсивном земледелии, при значительном снижении доли естественного плодородия почвы в формировании урожая, при расширении химических мер борьбы с сорняками меняются многие функции обработки.

3.2. Группы почв, пригодные к нулевой обработке

По пригодности к нулевой обработке почвы подразделяются на три группы:

К *первой группе* отнесены почвы, на которых урожай зерновых культур при нулевой обработке равен урожаю при традиционных методах обработки почв. К этим почвам относятся карбонатные хорошо дренированные суглинки. Содержание органического вещества должно быть более 2% в песчаных почвах, более 3% в суглинистых и иловатых и более 5% в глинистых почвах. Поверхность должна быть ровной или с небольшим равномерным уклоном.

К *второй группе* отнесены почвы, на которых при нулевой обработке урожай зерновых культур уступает урожаю культур при традиционной обработке. К этой группе относятся карбонатные глинистые почвы или суглинки. Почвы второй группы могут находиться на участках с небольшим уклоном, местами на участке могут быть понижения и западины, где отмечается временное накопление поверхностного стока.

К *почвам третьей группы*, на которых при нулевой обработке отмечается риск снижения урожая, особенно зерновых, относятся песчаные слабогумусированные, илистые, глинистые и многие переувлажненные аллювиальные почвы, подверженные затоплению, с высоким уровнем стояния грунтовых вод.

По сберегающим технологиям на сегодняшний момент в мире обрабатывается 72 млн. га почв. В земледелии эти технологии обеспечивают продовольственную безопасность за счет восстановления эродированных почв, сокращения использования химикатов, повышения качества продовольствия, увеличению конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции.

Переход к новым ресурсосберегающим технологиям, к так называемому консервирующему земледелию в России возможен при использовании преимущественно импортной техники.

Минимальная обработка почвы, и в особенности прямой посев, сокращает степень механического воздействия на почву, увеличивает уровень содержания органического вещества, улучшает структуру почвы, поддерживает ее температуру, а также позволяет почве задерживать и сохранять больше талой и дождевой воды. В почвах, обработанных по нулевой технологии, наблюдается большая биологическая активность. Такие почвы имеют больший уровень содержания питательных веществ, а также лучшую структуру почвы, чем почвы, обработанные по минимальной или традиционной технологии.

В последнее время интенсивная обработка почвы вызвала ряд отрицательных явлений экономического и экологического порядка. Среди них ветровая и водная эрозия почв, непроизводительные расходы влаги и питательных веществ, большие энергетические (до 35%) и трудовые (до 25%) затраты на обработку, уплотнение подпахотного горизонта почвы тяжелыми сельскохозяйственными машинами и орудиями. Обработка почвы с использованием плуга, который полностью переворачивает почву, вследствие чрезмерного рыхления (объем больших пор более 60%) вызывает разрушение структуры почвы, которая становится затем чрезмерно неустойчивой. Обработка почвы плужными орудиями разрушает поры и туннели, созданные беспозвоночными в почве, изменяет способность водоудержания, обмена газом и питательными веществами в почве.

В процессе подготовки почвы при возделывании зерновых культур – от посева, ухода за посевами и до уборки урожая – различные машины проходят по полю от 5 до 15 раз. В результате площадь следов от колес (гусениц) тракторов, транспортных и уборочных агрегатов составляет 100-200% от площади поля. Приемы традиционных сельскохозяйственных технологий, такие как сжигание растительных остатков и механическая обработка почвы с оборотом пласта, используемые для борьбы с сорняками и подготовки семенного ложа, пагубно воздействуют на окружающую среду. При этом в атмосферу выделяется диоксид углерода (CO₂) и сокращается объем органического вещества в почве, все это приводит к глобальному потеплению.

Для частичной или полной замены плужной обработки почвы применяются новые ресурсосберегающие системы обработки почв – минимальная и нулевая.

Минимальная обработка почвы – это агротехническая система, при которой достигается наименьшее число проходов тракторных агрегатов и других машин по полю в течение всего технологического процесса возделывания культуры.

Нулевая обработка почвы – частичная или полная замена некоторых видов механических обработок внесением гербицидов для уничтожения сорняков. Этими обработками достигается: повышение противозерозной устойчивости почв; замедление минерализации гумусовых веществ, особенно в районах со слабо гумусированными почвами; улучшение использования послеуборочных остатков; снижение распространения болезней в специализированных севооборотах.

При минимальной и нулевой обработках исключается ряд почвообрабатывающих операций в связи с использованием высокоэффективных гербицидов, появляется возможность проведения нескольких технологических операций за один проход агрегата, осуществляется прямой посев без предпосевной обработки почвы, а также заменяется традиционная глубокая обработка почвы мел-

кой, поверхностной.

При нулевой обработке почвы затраты труда сокращаются в 2,5-3 раза, расход топлива, связанный с выполнением операций, – в 5-6 раз. В США подтвердили, что только за 19 дней после обработки почвы освобождение CO_2 вследствие микробиологического разложения органических веществ при вспашке почвы примерно на 80% выше по сравнению с почвами, на которых применялся прямой посев в мульчированный слой.

Наиболее широко минимальная и нулевая обработка применяется в аридной и полуаридной зонах под сорго, кукурузу, сою на эрозионноопасных почвах легкого гранулометрического состава, где приняты короткие культурообороты: соя – сорго, кукуруза – соя и др.

Следует отметить, что нулевая система обработки пахотных земель пригодна лишь для определенных типов почв, например, во влажных районах тропиков, где получают два-три урожая основной культуры в год. Под первую культуру проводят плужную (чизельную) обработку, а под последующие – поверхностную или нулевую (прямой посев).

Техника обработки почвы плоскорезами, рыхление без оборота пласта с оставлением на поверхности стерни применяется в засушливых районах, где в зимний период выпадают атмосферные осадки в виде снега и где почвы подвержены ветровой эрозии. При глубоком рыхлении с оставлением на поверхности поля неизмельченной стерни в зимнее время накапливается больше влаги (в умеренной зоне – снега), но в засушливый период (в умеренной зоне – летом) испарение с поверхности поля значительно возрастает.

Внедрение в производство техники для непосредственного посева в не-вспаханную почву (объединив вспашку и посев в одну операцию) уменьшает водную и ветровую эрозию, повышает впитывание воды, снижает ее сток и уплотнение почвы. В последующем стали применять чизелевание, обработку поч-вы дисковыми орудиями в засушливых районах; ленточную обработку

почвы только на месте будущих рядков; обработку склонов по горизонталям. В полу-засушливых районах применяется обработка культиваторами, где посев проводят на дно глубоких борозд, гребни и борозды препятствуют ветровой эрозии, уменьшают сток воды и накапливают влагу.

Теоретической основой ресурсосберегающих систем обработки почвы служат закономерности изменения агрофизических свойств и плодородия почвы под действием интенсификации земледелия и природных факторов. В современном интенсивном земледелии, при значительном снижении доли естественного плодородия почвы в формировании урожая, при расширении химических мер борьбы с сорняками меняются многие функции обработки.

Технология прямого посева приводит к значительному увеличению количества и многообразия почвенных организмов, особенно клещей, питающихся грибами. При прямом посеве растительные остатки в основном разлагаются с помощью грибной микрофлоры, которая накапливает азот в своих гифах, затем быстро увеличивается количество микроорганизмов, питающихся грибами. Микроорганизмы используют часть азота, а оставшаяся часть попадает в почву и используется растениями и другими организмами. Система прямого посева имеет большую устойчивость к внешним воздействиям (такие поля быстрее восстанавливаются после засухи, наводнений или механической обработки). Увеличивается количество и многообразие видов почвенных организмов, повышается уровень содержания органического вещества, увеличивается скорость переработки азота по сравнению с традиционными системами обработки почвы.

При возделывании по сберегающим технологиям необходимо выбрать сорта культур, обеспечивающие высокий уровень органического вещества на поверхности почвы. Такие культуры должны извлекать и эффективно использовать минеральные питательные вещества почвы, а также должны быть

адаптированы к отдельному и смешанному выращиванию, особенно в регионах, где такие технологии наиболее распространены.

Создание среды обитания в почве является первым шагом к управлению почвенными организмами для обеспечения плодородия почвы на длительный срок. Прямой посев обеспечивает не только производство продукции по конкурентноспособным ценам, но и одновременно отвечает требованиям по охране окружающей среды.

Если исходить из того, что из 70 миллионов пахотных земель в ЕС 16% являются эрозионно-опасными (11,2 млн. га) и из них только 40% пригодны для прямого посева, потери драгоценного пахотного слоя по сравнению с традиционной обработкой плугом (179 млн. т) можно было бы сократить на 64,5 млн. тонн. Исходя из толщины пахотного слоя в 25 см, можно таким образом избежать потерь вследствие эрозии в размере 18400 га в год, сэкономив при этом 345 млн. евро в год. При прямом посеве по сравнению с плужной обработкой почвы сокращается снос поверхностного слоя на 69%, внесение гербицидов на 70%, содержание нитратов более чем на 85%, перенос осадочных отложений на 93%.

При отказе от традиционной обработки почвы содержание углерода в почве в среднем увеличивается на 0,77 т/га в год, а эмиссия CO₂ уменьшается на 2,8 т/га в год.

В настоящее время во всем мире 48 млн. га засеваются прямым посевом (соответственно около 70% пахотных площадей в ЕС). При этом сокращение эмиссии CO₂ в пределах около 7 млн. тонн в год происходит только благодаря сокращению потребления топлива (1,5 млрд. т дизеля). Если сюда прибавить 34 млн. тонн CO₂ в год, которые благодаря насыщению органического вещества (0,77 т/га в год) не улетучатся в атмосферу, то содержание гумуса значительно увеличивается.

Длительные испытания прямого посева доказывают, что он не только противодействует потере органической субстанции почвы, но и дает

возможность обогащения верхнего гумусового слоя. Прямой посев наряду с сокращением эмиссии CO₂ положительно влияет на накопление агрономически ценных почвенных агрегатов в верхнем слое почвы. Под действием биогенных факторов отмечается образование водопрочных почвенных агрегатов, они, в свою очередь, в значительной мере препятствуют заплыванию самого верхнего слоя почвы, являющегося одной из важных причин почвенной эрозии.

Значение дождевого червя для нового образования почвы, перемешивания и ферментации растительных остатков общеизвестно. К сожалению, до сего времени дождевым червям не уделяется должного внимания, хотя они непосредственно участвуют в процессах минерализации и создании плодородного слоя почвы. На различных почвах, на которых в течение последних 20 лет применялись различные виды интенсивных плужных обработок почвы, количество дождевых червей составляло 20-35 шт/м², и уже через несколько лет, при отказе от плуга и переходе на прямой посев, было отмечено увеличение популяции дождевых червей до 200 шт./м². Черви прокладывают глубоко расположенную непрерывную систему подземных ходов, способствующую вентиляции почвы и отводу излишка влаги, при этом пропускают через себя почву и органические остатки, обогащая их элементами питания.

3.3. Прямой посев

При применении прямого посева пахотный слой обладает более высокой слитностью, что способствует образованию пор среднего диаметра, которые в состоянии накапливать больший объем воды. Кроме того, отмечается оптимальное подпочвенное переплетение корней при прямом посеве, которое, особенно при дефиците влаги, способствует увеличению урожайности, благодаря использованию питательных веществ, находящихся глубоко в почве. При применении прямого посева улучшаются условия для обмена веществ в почве. Это приводит к резкому изменению питательного баланса веществ, которое отражается в совершенно ином распределении содержания N и C в пахотном слое. Различное взаимодействие температуры почвы, воды, воздуха очень сильно изменяют промежуток времени и микробиологическую активность в процессах образования гумуса.

При прямом посеве избыток влаги выводится, азот соединяется с органической субстанцией в форме $N_{\text{орг}}$ и не поддается перераспределению в невегетационный период. В период вегетации показывают, что при прямом посеве в более глубоких слоях почвы имеется меньшее содержание N и сумма перераспределения значительно меньше.

В фазе перехода на прямой посев отмечается более высокая скорость всходов семян сорняков, затем отмечается ее спад. В севообороте с большой долей озимых зерновых при прямом посеве уничтожение сорняков селективными гербицидами более эффективно. Снижение расходов на технологические операции при прямом посеве позволяет снизить стоимость единицы продукции с гектара и повысить эффективность возделывания. При прямом посеве требуется только 6,8 л/га дизельного топлива, в то время как при традиционной обработке почвы – 45 л/га, т.е. в шесть раз больше. Сеялкой прямого высева сев производится в три раза быстрее, что в дальнейшем сокращает затраты и удобно при сверхурочном использовании или при аренде машин.

С учетом технологических затрат, урожайности и выручки от продаж во

всех экспериментальных хозяйствах Германии, при применении прямого посева отмечаются явные экономические преимущества, которые составляют по сравнению с вспашкой почвы от 7 до 23 %.

Приемы минимальных технологий направлены на воссоздание естественных природных процессов в почве благодаря формированию постоянного растительного покрова, состоящего из покровных культур и растительных остатков. Минимальная технология также может быть хорошей альтернативой традиционному посеву. Правильно подобранные севообороты улучшают условия микросреды вокруг корней растений (структура, уровень содержания питательных веществ и влаги) и помогают избежать увеличения развития болезней и популяции вредителей.

3.4. Поверхностная мульчированная обработка.

Посев в мульчу снижает запыление почвы, предотвращает водную и ветровую эрозии, уменьшается поверхностный сток и смыв почвы. Вследствие заделки растительных остатков в верхний слой почвы улучшается ее инфильтрационный режим за счет лучшего распределения капилляров и повышенной активности дождевых червей.

В районах полупустынь использование консервирующей технологии позволяет предотвратить ненормированный выпас скота и формирование высококачественных пастбищных угодий.

Опыты с «консервирующей обработкой земли», которые проводились в США с 30-х годов, а затем длительное время в Германии, показали, что первым компонентом консервирующей обработки почвы стал «мульчированный посев» в таких регионах, которым угрожает опасность водной эрозии. Мульчированный посев является не только единственной возможностью защиты почвы от эрозии, но его преимущества также заключаются в защите от глинизации и испарения. Ресурсосберегающие технологии улучшают водный и воздушный режимы почв, условия роста растений и ассимиляцию при летней засухе. Они сохраняют благоприятное состояние почвы для осуществления техно-логических процессов, и почва менее страдает от переуплотнения.

Поначалу мульчированный посев базировался почти исключительно на остатках предшествующих промежуточных культур. При возделывании сахарной свеклы используют мульчированный посев с предварительной предпосевной обработкой почвы. Отмершие остатки промежуточных культур перерабатываются. При благоприятных условиях пунктирный посев осуществляется традиционной техникой.

Мульчированный посев был невозможен без обработки почвы с использованием измельчителей, так как перед сошником громоздился неизмельченный материал, что приводило к засорениям. Для создания капиллярной скважности в Германии была разработана техника, которая

обеспечивала свободную от остатков растений посевную борозду.

Основным различительным признаком между мульчированным посевом и посевом по плужной борозде является наличие остатков на поверхности почвы. Они служат, в первую очередь, для предотвращения глинизации и эрозии почвы и, во вторую очередь, в качестве питания для почвенных организмов, особенно для дождевых червей. В Германии на глинистых почвах с высокой потенциальной опасностью эрозии в некоторых хозяйствах культуру севооборота – пшеницу заменили на озимую рожь, чтобы успеть посеять промежуточную культуру. Горчицу в качестве промежуточной культуры можно сеять без обработки по стерне, и она покрывает почву вместе с растительными остатками предшественника до 80%. Предпочтительнее использовать на тяжелых почвах мульчированный посев без предпосевной обработки почвы, так как поверхность почвы быстро высыхает и риск уплотнения из-за проходов трактора очень незначителен. Следовательно, мульчированный посев представляет собой высокоурожайный и почвощадящий вариант посева на глинистых почвах по сравнению с плужным посевом.

На пылеватых суглинистых склоновых почвах во многих районах предшественником сахарной свеклы является стерня пшеницы. Поздний сбор урожая и большое количество соломы не позволяет высевать промежуточные

культуры. Метод соломенной мульчи в сравнении с весенней вспашкой с низкой всхожестью является более эффективным. Остатки соломы снижают содержание глинистых фракций, повышают полевую всхожесть, а мелкое рыхление дает возможность росту корневой системы.

Экономия при мульчирующем посеве по сравнению со вспашкой составляет от 33% до 50%. Мульчирующий посев без рыхления может поддерживать высокий урожай при незначительных расходах. Самым рентабельным является мульчирующий посев с рыхлением, так как рыхление способствует повышению урожая, и издержки в расчете на единицу продукции

снижаются на 0,2 евро/центнер, и могут достигать до 6 евро/центнер.

Остатки предшествующих или промежуточных культур защищают почву от ветровой и водной эрозии, предупреждают оглеение, снижают сток воды с поверхности. Это особенно важно в период от посева и до покрытия почвы листьями растений, так как в это время возникает высокая опасность смыва стерни пшеницы из-за ливневых осадков.

При закрытии почвы соломенной мульчей зернового предшественника влага сохраняется в течение зимы, кроме снижения испарения улучшается влагоемкость, что является решающим для урожайности. При мульчированном посеве с обработкой почвы осенью запас почвенной влаги на 17 мм больше, чем после плужной обработки. Таким образом отказ от плужной обработки и от обычного хода осенних работ способствовал улучшению водного баланса почв.

При внесении больших количеств соломы для мульчирования необходимо заделывать ее в почву на глубину 10-15 см. Наряду с увеличением урожая более чем на 10%, бесплужный метод возделывания сахарной свеклы, озимой пшеницы и озимого рапса имеет высокую рентабельность.

Экономическая предпочтительность поверхностной мульчирующей обработки почвы для озимой пшеницы и сахарной свеклы основывается как на повышении урожая, так и на снижении расходов. В больших хозяйствах более высокая выработка на единицу площади может способствовать своевременному выполнению работ в указанный срок при ограниченном количестве полевых рабочих дней благодаря отказу от плужной обработки.

В зерновом севообороте всеобщее распространение получают фузариоз, гниль корневой шейки (полегание стеблей), бактериальная черная ножка и пятнистость листьев. Злаковые сорняки как, например, овсюг, лисохвост и разные виды коостра вынуждают изменить севооборот и вносить больше гербицидов. Чем меньше времени до нового посева остается для процесса распада, т.е. чем менее благоприятен севооборот, тем тщательнее должны вноситься послеуборочные и корневые остатки в биологически активный слой

почвы. Хороший опыт по размещению соломы и мульчи достигается, например, при сменном использовании дисковой бороны и дискового культиватора. Необходимым для разложения соломы и прорастания осыпавшихся зерновых и сорняков является устранение полых мест и обратное уплотнение мульчированного слоя с помощью тяжелых катков. Важным для мульчированного посева является также предшественник с короткой стерней, а также точно работающие соломоизмельчители. Солома должна быть хорошо измельчена. При этом для микробиологического разложения соломы важно, чтобы солома равномерно пропускалась через всю рабочую ширину режущего механизма зерноуборочного комбайна и укладывалась между стерней.

Таким образом, бесплужные методы возделывания, используемые в засушливых областях в виде мульчированного посева, могут привести к стабилизации и увеличению урожая. Поверхностная мульчирующая обработка почвы улучшает пропитывание почвы осадками и сокращает непродуктивное испарение, при этом отмечается увеличение выработки на гектар, а также экономия расходов на эксплуатацию машин.

В целом, консервирующая обработка почвы – это сохранение важнейших функций почвы. Она позволяет создать высокую несущую способность структуры почвы и сократить опасность нагрузки за счет проездов тракторов при вспашке и высокопроизводительных уборочных машин. При этом остатки растений на поверхности берут на себя защитную функцию против глинизации и эрозии. Они повышают активность дождевых червей, которые создают биогенные вертикальные ходы и способствуют инфильтрации и вентиляции почвы, а также сокращению эрозии и снижению уплотнения почвы. Все это способствует улучшению условий жизнедеятельности полезных микроорганизмов и повышению плодородия почв.

4. РОЛЬ СЕВООБОРОТОВ В ПОЧВЕННОМ ПЛОДОРОДИИ

4.1. Причины положительного влияния севооборота на плодородие почвы

В системе мер по повышению плодородия почв главное место занимают обоснованные севообороты. Их важнейшей задачей является получение максимальной продукции с единицы площади за счет правильного чередования культур, обеспечивающего оптимальные условия питания и влагообеспеченности растений, борьбы с болезнями, вредителями, сорняками.

Чередование сельскохозяйственных культур в севообороте неразрывно связано с агротехникой: с системой обработки почвы, системой удобрений, с семеноводством, с мероприятиями по борьбе с эрозией почвы, сорняками, болезнями и вредителями. Бесменная культура (монокультура) - сельскохозяйственная культура, возделываемая на одном и том же поле длительное время, что способствует выносу из почвы элементов питания и широкому распространению сорняков, болезней и вредителей.

Период полного оборота сельскохозяйственных культур называют ротацией севооборота. Ротация севооборота может составлять 3-12 лет, соответственно, количество сельскохозяйственных культур в севообороте и число полей на севооборотном участке может быть 3-12, а в ротациях с выводным полем и более.

Ежегодная смена сельскохозяйственных культур на поле препятствует распространению приспособленных вредителей, болезней, оказывает влияние на развитие почвенных микроорганизмов, накопление и истощение химических веществ и влаги в разных почвенных слоях, на накопление корневых и пожнивных остатков. Осуществляют чередование пропашных культур с культурами сплошного сева, бобовых с небобовыми, культур с разной глубиной корневой системы и разными периодами вегетации. При планировании севооборотов учитывают почвенные и климатические условия, специализацию хозяйства, организацию труда, наличие техники, удобрений и прочие условия.

Процесс накопления минеральных веществ в почве протекает гораздо медленнее выноса, и если не будет возврата их в виде удобрений, то неизбежно должны снижаться урожаи возделываемых культур. Необходимость чередования культур обоснована тем, что растения не одинаково используют питательные элементы из почвы: одни берут больше азота, другие - фосфора, а третьи - калия, поэтому при чередовании культур эффективное плодородие сохраняется более продолжительное время.

Обобщая исторический опыт чередования культур, академик Д.Н. Прянишников пришел к выводу, что среди причин положительного влияния севооборота на плодородие почвы и повышение урожайности возделываемых культур нужно выделить следующие:

- причины химического порядка, связанные с различной потребностью растений в отдельных элементах минерального питания и изменением в связи с этим питательного режима почвы;
- причины физического порядка, т. е. влияние растений и их возделывания на физические свойства (структуру), влажность, аэрацию и плодородие почвы;
- причины биологического порядка, вызываемые различным отношением высеваемых в севообороте культур к сорнякам, вредителям и болезням;
- причины экономического порядка, зависящие от биологических особенностей культурных растений (пшеница, хлопчатник, картофель), т. е. длительность вегетационного периода, разная агротехника и связанная с этим различная потребность в рабочей силе, технике и транспортных средствах.

Обмен веществ между почвой и растениями происходит по-разному, в зависимости от биологических особенностей культур и растворяющей способности их корневой системы. Бобовые многолетние травы (люцерна, клевер, донник), обладающие мощной и глубоко проникающей корневой системой (до 3-5 м), не только обогащают почвы большим количеством органического вещества, улучшают строение и структуру почвы,

но и вовлекают в общий круговорот питательные вещества из глубоких горизонтов и материнской породы. Поэтому бобовые культуры являются хорошим предшественником почти для всех культур севооборота.

4.2. Влияние севооборота на баланс питательных веществ

Чередование культур существенно влияет на баланс почвенных запасов питательных элементов в почве. Во избежание выноса одних и тех же питательных веществ из почвы необходимо правильно чередовать культуры в севообороте. В противном случае происходит истощение почвы отдельными элементами.

Вынос питательных веществ из почвы частично компенсируется за счет пожнивных и корневых остатков растений. Поэтому чем больше пожнивных и корневых остатков растений запахивается, тем больше питательных веществ остается в почве. Различные культуры в зависимости от их облиственности,

продолжительности вегетации, а также количества корневых и пожнивных остатков неодинаково влияют на физические свойства почвы. Чем больше имеется корневых и пожнивных остатков, тем больше накапливается перегноя в почве и улучшается ее структура, уменьшается плотность и создается благоприятное строение. В этом отношении наибольшую ценность представляют многолетние бобовые травы, (люцерна, эспарцет, клевер), а также сидеральные культуры на запахку, которые находятся в прямой зависимости от степени их разложения. Отсюда важность запахивания корневых и стержневых остатков для улучшения почвенных условий развития культурных растений.

Широколиственные растения (фасоль, соя) и высокостебельные (кукуруза, подсолнечник) своими листьями затеняют почву, предохраняют ее от испарения, а в период дождей защищают от сильных ударов дождевых капель, что также способствует улучшению физических свойств почвы. В

целом чередование культур в севообороте улучшает физические и технологические свойства почвы.

Теоретической основой чередования сельскохозяйственных культур в севооборотах служат биологические условия взаимодействия культурных растений с почвой. При насыщении севооборотов отдельными культурами значительное внимание уделяется аллелопатии - учению о корневых выделениях растений и продуктах жизнедеятельности специфических микроорганизмов.

4.3. Типы и виды севооборотов.

Севообороты бывают полевыми, кормовыми, специальными. *Специальные севообороты* применяют для улучшения почв. К специальным относят противоэрозионные, или почвозащитные севообороты, в которых набор, размещение и чередование сельскохозяйственных культур обеспечивают защиту почвы от эрозии. Они вводятся на склонах, где существует водная эрозия, и на почвах, наиболее сильно подверженных дефляции. В зависимости от состава и соотношения культур они нередко относятся к полевым или кормовым севооборотам, преимущественно зернотравяного или травопольного вида, часто с полосным размещением культур.

В борьбе с водной и ветровой эрозией главную роль играют многолетние травы длительного пользования, которые своей мощной корневой системой наиболее прочно закрепляют почвенный покров. Поэтому в почвозащитных севооборотах многолетние травы, как правило, занимают большую часть площади.

Так, на легких (песчаных и супесчаных) почвах в районах с достаточным количеством осадков применяют сидеральные севообороты, в которых сельскохозяйственные культуры высевают на зеленое удобрение (запахивают), что увеличивает количество органического вещества в почве, улучшает физические и химические свойства почвы, повышает ее плодородие. На землях, подверженных размыву, смыву и дефляции (выдувание ветром) применяют противоэрозионные и почвозащитные севообороты, в которых основной

составляющей являются многолетние травы и почти нет пропашных культур.

Таким образом, степень влияния различных культур на плодородие почвы, а также ценность их как предшественников заключается в сложном комплексе воздействий на агрохимические, агрофизические и биологические свойства почвы. Наиболее благоприятные условия для получения высоких урожаев создаются при научно обоснованном чередовании культур. Севообороты не только способствуют улучшению плодородия почвы, но и одновременно создают возможности для повышения экономической эффективности сельскохозяйственного производства за счет рационального использования рабочей силы и техники.

Особенно важно учитывать влияние предшественника на почвенные факторы жизни растений, которые находятся в минимуме. Так, на почвах, бедных азотом, роль предшественника оценивается, прежде всего, по воздействию его на накопление этого элемента в почве, в засушливых районах важно учитывать влияние на водный режим и т. д.

Пар при определенных почвенно-климатических условиях необходим в качестве средства восстановления плодородия почвы. При соблюдении правильной системы обработки почвы и удобрений по залежи обеспечиваются высокие урожаи зерновых и других культур. Урожай в первый год после распашки залежи всегда бывает меньше, чем во второй. Это результат того, что в не-паханой залежи питательные вещества для растений находятся в формах живого и мертвого органического вещества. После перепашки органическое вещество начинает разлагаться под воздействием микроорганизмов. Прежде всего разлагается перегной, создавая в почве резкое преобладание усвояемой азотной пищи. Органические остатки, содержащие, кроме азота, все зольные элементы питания растений, разлагаются медленнее и переходят в усвояемые минеральные формы только на 2-3-й год после распашки залежи.

Поверхностный слой почвы, занятый многолетней травянистой растительностью, отличающейся значительной связностью (в верхнем 10 см слое),

обусловленной скреплением частиц почвы корнями трав, называют дерниной. Дернина содержит повышенные количества органического вещества как в виде перегноя, так и в виде мертвых растительных остатков и живых частей растений (корни, корневища и др.), обладает прочной комковатой структурой. Запас органического вещества и хорошие физические свойства дернины при соответствующем увлажнении и тепловом режиме способствуют интенсивному развитию микробиологических процессов. Дернина обычно богата азотом, сравнительно меньше обеспечена доступными для растений фосфором и калием, в связи с чем фосфорные и калийные удобрения на фоне распаханной дернины обладают повышенной эффективностью. Азот в дернине находится преимущественно в виде органических соединений и становится доступным для растений по мере разложения дернины.

Особенно высокими достоинствами как предшественник сельскохозяйственных культур обладает дернина, созданная злаково-бобовыми травосмесями, способствующими лучшему образованию почвенной структуры.

При обработке искусственных пастбищ запахивается огромная масса стерневых и корневых остатков злаковых культур (5-7 т/га), бедных азотсодержащими органическими соединениями (0,1-0,2%), но богатых клетчаткой и лигнином (75-85% на сухое вещество). Необходим комплексный подход (обра-ботка – удобрение – культура и др.) при решении вопроса о роли предшественника в повышении урожайности культур в севообороте. При этом особая роль отводится пару.

При интенсификации земледелия зеленое удобрение приобретает особое значение в виде промежуточных культур, и эта форма сидерации в настоящее время стала агротехнически и экономически более выгодной, в результате чего повышается продуктивность пашни на 17,4-49,4%.

Зерновые бобовые промежуточные культуры имеют большое значение как источник органического вещества. При запашке зеленая масса

промежуточных культур с узким отношением углерода к азоту играет роль катализатора процессов разложения и других соломистых остатков, бедных азотом, ранее внесенных в почву.

Таким образом, промежуточные культуры служат не только дополнительным источником кормов, но и важным фактором повышения плодородия почвы и улучшения чередования культур в специализированных полевых севооборотах интенсивного земледелия.

Каждый из типов севооборотов в зависимости от соотношения в структуре посевных площадей основных групп сельскохозяйственных культур или пара (зерновые, пропашные, сидеральные и др.) и способов восстановления плодородия почвы подразделяют на различные виды, соответствующие местным природно-экономическим зонам.

Одной из важных проблем в организации севооборотов является экономное и рациональное использование продуктивной влаги. В засушливой зоне в борьбе с засухой, суховеями и ветровой эрозией центральное место занимают зернопаровые севообороты с чистыми парами. Главное агротехническое преимущество их состоит в том, что пары накапливают за счет осенне-зимних осадков много продуктивной влаги и усвояемых питательных веществ.

Продуктивность специализированных полевых севооборотов с большим насыщением зерновых культур, определяется во многом биологической активностью почвы, ее способностью трансформировать поступающие с удобрениями, пожнивными остатками органические вещества, а также фитосанитарное состояние почвы. Необходимые высокие темпы накопления гумуса наблюдаются в зернотравяных севооборотах, где велико насыщение не только зерновыми, но и бобовыми (40-50%) и отсутствует пропашное поле. В среднем за год в них накапливается на 14-47% больше углерода, чем в плодосменном севообороте. Такие качественные изменения накопления гумуса в почве в специализированных севооборотах происходят под влиянием

биологических и биохимических процессов. Для поддержания высокой биологической активности почвы рекомендуется чередовать разные зерновые культуры, применять высокие нормы органических удобрений и включать в чередование промежуточные культуры.

Оставляя большое количество корневых остатков (4-7т/га), распределенных по всему пахотному слою, многолетние травы обогащают почву гумусом и тем самым улучшают ее физические свойства (структуру, водопроницаемость, аэрацию и др.). Свыше 30% корней многолетних бобовых трав, распространенных в слое 40 см, на богаре накапливается в пахотном слое (0-20 см). В условиях достаточной обводненности или при орошении содержание корней в верхнем слое почвы (0-10 см) возрастает на 15%, а в слое 10-20 см - на 20%. Та-ким образом, промежуточные культуры служат не только дополнительным источником кормов, но и важным фактором повышения плодородия почвы и улучшения чередования культур в специализированных полевых севооборотах интенсивного земледелия.

Болезни и вредители зернобобовых культур не повреждают в большинстве своем зерновые и пропашные культуры. Этим и объясняется эффективность зерновых бобовых как предшественников по сравнению с зерновыми.

Характерной особенностью пропашных культур является повышенная микробиологическая активность почвы вследствие ее систематического рыхления в течение всего вегетационного периода (междурядная обработка, окучивание и др.), что ведет к быстрой минерализации стерневых и корневых остатков, а также гумуса почвы и вымыванию подвижных питательных веществ с пахотного слоя атмосферными осадками во влажные периоды года.

Хорошими предшественниками для зерновых являются пропашные кукуруза и картофель. Рыхление способствует активизации микробиологических процессов разложения органических остатков, а также накоплению влаги в почве и повышению урожая зерна.

Таким образом, севообороты должны быть агрономически правильными, экономически обоснованными, тогда их введение повышает культуру земледелия, урожайность сельскохозяйственных культур, производительность труда, сохраняет и повышает плодородие почвы.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫМ ПЛОДОРОДИЕМ

5.1. Почва как объект управления при интенсификации земледелия

Последовательная интенсификация земледелия делает на современном этапе обеспечение эффективного управления плодородием центральной задачей агрогенетического почвоведения. Его теоретической основой служит весь потенциал генетического почвоведения. Плодородие почвы есть одно из проявлений ее генезиса. Это приходится подчеркнуть, поскольку еще распространены упрощенные, сугубо утилитарные трактовки плодородия, случаи неоправданного противопоставления теоретического (генетического) и прикладного (агрономического) почвоведения.

Интенсификация земледелия усложняет процессы управления плодородием почв и продуктивностью агроценозов вследствие ряда причин:

- резко возрастает число параметров почв, управляемых прямо или косвенно, а следовательно, объем и характер информации, которую надо учитывать при принятии решений;

- расширяется диапазон скоростей управляемых процессов во времени.

Одновременно приходится учитывать как быстрые изменения (содержание подвижных форм элементов питания), так и медленные, эффект которых сказывается только через ряд лет;

- многие из этих параметров взаимосвязаны, причем механизмы таких связей очень сложны, а их прогнозирование носит в значительной степени гипотетический характер (например, длительное последствие орошения на почвенный поглощающий комплекс черноземов). Поэтому обязателен учет процессов самоорганизации, механизмов поддержания гомеостаза, их временных трендов;

- ускоряется производственное внедрение новых элементов технологий, зачастую опережая их детальную многолетнюю проверку в полевых опытах (новых видов удобрений, пестицидов, техники и т. д.). Нередко это внедрение осуществляется путем переноса опыта из одних почвенно-климатических условий в другие, где они серьезно не апробированы;
- уменьшается наглядность восприятия изменений почвенных свойств и режимов. Если интерпретация эрозионного смыва или дегумификации не вызывает особых трудностей, то иная ситуация с воздействием пестицидов на ионное равновесие, включая микроэлементы, или на биоту в целом;

На современном этапе совершенствование теории и практики целенаправленного управления продукционным процессом почв делает необходимым все более последовательное использование принципов и методов информатики и кибернетики. Конечная цель такого подхода состоит в том, чтобы глубже понять и количественно выразить функционирование почвы как открытой многокомпонентной динамической системы, отправляясь от сведений о ее составляющих.

Модели плодородия почв, характеризуя комплекс агрономически важных параметров данного почвенного таксона применительно к определенным типам агроценозов, опосредованно отражают специфику отдельных севооборотов, культур и технологий на фоне типичных климатических условий. Эти модели призваны служить информационной основой целенаправленного регулирования не только лабильных, но и относительно консервативных свойств и режимов (гумусированность, почвенный поглощающий комплекс, водно-физические параметры и т. д.). Их связь с фактической урожайностью имеет сложный характер, обусловленный взаимодействием неуправляемых и управляемых факторов среды, и рекомендации по оптимизации последних делаются, как правило, по аналогии, исходя из идентичности главных компонентов агроценозов (области экстраполяции моделей).

Детализация моделей плодородия почв с учетом особенностей конкретных земельных массивов, полей, сортов, погодных условий данного года,

предшественников и т. д. - сфера оперативной диагностики водного режима и минерального питания. Поэтому такие модели отличают детерминированный характер, более ограниченное число регистрируемых параметров, управление которыми реально в данный вегетационный период. Модели оперативной диагностики правильнее подразделять не столько по видам диагностики (почвенная или растительная), сколько по целевым функциям. В зависимости от конкретных условий информативность отдельных показателей оперативной диагностики может существенно меняться. В отрыве от базисных характеристик моделей плодородия почв они нередко лишь регистрируют нарушения, но не могут вскрыть их причины, особенно если те имеют сложную природу (воздействие неблагоприятных физических свойств почвы и подпочвы, дисбаланс элементов в корнеобитаемом слое и др.). Поэтому комплексная оценка эффективного плодородия требует сочетания обеих категорий моделей и, следовательно, предполагает их информационную совместимость.

Отечественная и мировая практика убедительно доказала несостоятельность упрощенных трактовок управления плодородием почв, когда во внимание принимались изменения только нескольких изолированных показателей, имеющих непосредственное агрономическое значение (например, рН, содержание гумуса, P_2O_5 или K_2O). Почва рассматривается при этом как пассивный субстрат, игнорируется ее способность к самоорганизации и саморегуляции. Между тем, как и в других сложных системах, гомеостаз основных характеристик почв поддерживается именно за счет лабильности отдельных параметров, то есть равновесие сохраняется благодаря разнообразным связям. Наличие дублирующих стабилизирующих механизмов обеспечивает в естественных биогеоценозах компенсацию негативных внешних влияний, если они не достигают критических значений.

5. 2. Категории и уровни моделей воспроизводства плодородия

Модели повышения продуктивности почв могут разрабатываться на разных иерархических уровнях, для каждого из которых типичны свои критерии оптимальности, управляемые переменные и ограничения. Обычно структура посевных площадей, севообороты считаются заданными и применительно к ним разрабатываются вопросы воспроизводства плодородия почв. Иными словами, исходят из фактически сложившихся, во многих случаях неоптимальных условий производства, в том числе его специализации, что заранее сужает диапазон возможных решений. Такая постановка задачи может быть оправдана тогда, когда народнохозяйственные интересы ограничивают или исключают маневр за счет смены другой компоненты продуктивности агроценозов - набора возделываемых культур и технологий их выращивания.

Но во многих случаях правомочна иная формулировка модели - целевой функцией задается обеспечение простого или расширенного воспроизводства плодородия почв, исходя из чего определяется набор тех или иных культур, севооборотов, систем технологий и даже соотношение развития отраслей земледелия и животноводства. Поэтому переход от зональных систем земледелия к рациональным зональным системам ведения сельскохозяйственного производства - это переход на более высокий уровень его оптимизации, а не простая замена формулировок. Центральное значение при этом приобретают учет разнообразия почв и почвенного покрова, максимальная дифференциация агропроизводства применительно к их отдельным таксонам, поскольку как раз они являются слабым звеном многих современных зональных систем земледелия.

Известны примеры, когда именно трудности воспроизводства плодородия почв обуславливали кардинальные смены систем земледелия и землепользования в целом. Наиболее масштабным из них была противоэрозионная почвозащитная система земледелия, разработанная первоначально для условий целины. Однако такие изменения проводились, как правило, только в случаях, когда сохранение плодородия почв оказывалось в

критических ситуациях. Между тем этот критерий должен быть обязательным при оценке оптимальности всех систем земледелия, севооборотов, элементов технологии и т. д. Более того, в любом случае необходима точная и объективная информация об их влиянии, в том числе отдаленном, на воспроизводство плодородия почвы в целом и на его составляющие. Среди последних не только бездефицитный баланс гумуса и основных элементов питания, но и гомогенизация почвенного покрова, физические свойства пахотного и подпахотного горизонтов, биологическая активность, предотвращение техногенного и сельскохозяйственного загрязнения.

Ряд интегральных моделей плодородия почв не отражает обратного влияния увеличения продуктивности агроценозов, включая фитомассу корней, пожнивных остатков и т. д., на плодородие, в том числе на процессы гумификации и баланс гумуса, то есть самоорганизации агроэкосистем.

В управлении плодородием почв широкое распространение получил нормативный подход, когда на основе опытных и статистических данных устанавливаются соотношения между входными (дозы удобрений и т. п.) и выходными (продуктивность) параметрами агроценозов. В наиболее упрощенном виде эти соотношения представляются как коэффициенты пропорциональности (например, окупаемость удобрений). Более адекватное количественное выражение связей типа "причина - следствие" (в данном контексте "ресурс - продуктивность") основываются на системах регрессионных уравнений. Их информативность не вызывает сомнений, так как создание нормативной базы по основным факторам, хотя бы и со значительными допусками, способствует решению многих практических задач разного масштаба. Эффективность таких моделей очевидна, например, при сравнительной оценке потенциального плодородия почв в зональном или провинциальном плане, в работах по почвенно-агрономическому районированию, бонитировке почв, составлению земельного кадастра. Соответственно облегчается распределение капиталовложений, удобрений и других ресурсов при долгосрочном отраслевом и региональном планировании.

Вместе с тем следует предостеречь против абсолютизации нормативного подхода, что нередко имеет место на практике. Чаще всего упускают из вида нелинейный характер связей, типичных для почвы, где зависимость между входными и выходными показателями имеет обычно сложную зависимость, в том числе вследствие регулирования через обратные связи.

5.3. Информационная база динамических моделей управления плодородием

При построении динамических моделей трудности гносеологического плана возникают даже при наличии фактических данных, опыта научных учреждений или передовых хозяйств. Правомочность их экстраполяции на большую территорию зависит от идентичности природных и хозяйственных условий, что в реальных условиях соблюдается далеко не всегда. В регионах с неоднородным почвенным покровом порой вообще невозможно охватить опытами все его комбинации. Экстраполяция прошлого опыта на будущее предполагает повторяемость начальных условий и внешних воздействий. Но по мере ускорения научно-технического прогресса все вероятнее случаи, когда прогноз долгосрочного эффекта тех или иных приемов придется делать без длительных натурных испытаний.

Ценность многолетних полевых опытов прямо зависит от их длительности, но вследствие быстрой сменяемости условий информация столь же быстро "стареет".

Генеральной линией современного генетического почвоведения является постоянное расширение числа определяемых показателей свойств и режимов почв, усложнение и совершенствование аналитических методов, повышение их точности и чувствительности. Прогресс в этой области является важнейшей предпосылкой все более полного познания почвы как сложной многокомпонентной динамической системы, ее генезиса и эволюции.

Отсюда исключительно высокие требования, которые предъявляют модели к информативности критериев плодородия, так как на основании

отдельных, довольно простых параметров мы должны судить об очень сложных процессах, происходящих в почве и определяющих прямо или косвенно ее производительную способность. Актуальными задачами агропочвоведения являются, с одной стороны, стандартизация (унификация) методов определения всех параметров как условие сравнимости и воспроизводимости их результатов, а с другой - дифференциация аналитических процедур применительно к особенностям отдельных почв, если это обусловлено объективными причинами (включая трудоемкость и себестоимость).

Сложился ощутимый разрыв в данной области между достижениями научных учреждений, разработавших много перспективных методов оценки плодородия почв, и практикой массового обслуживания в системе агрохимслужбы страны. Между тем интенсификация земледелия делает крайне важным все более детальную характеристику почв с целью выявления разнообразных факторов, лимитирующих продуктивность возделываемых культур и воспроизводство плодородия.

5.4. Особенности моделирования долгосрочных программ повышения плодородия

Процесс почвообразования в целом можно трактовать как информационный, причем носителями информации в наиболее компактном виде выступают прежде всего глинистые минералы, органическое вещество, их соединения.

Функциональный подход необходим при оценке роли органических веществ, и в частности гумуса, в эффективном плодородии почв. Бесспорно, что повышение гумусированности - универсальное и притом экологически "мягкое" средство, но этот путь нельзя абсолютизировать вследствие ряда объективных причин. Прежде всего необходимо вычленить конкретные механизмы его положительного действия и их индивидуальные значения, что обычно не делается. В связи с полифункциональностью гумуса приоритетное значение для отдельных почв могут иметь улучшение водно-физических

свойств, предотвращение необменной фиксации в недоступные для растений формы фосфора и микроэлементов, повышение сорбционной способности и тем самым уменьшение выщелачивания элементов питания из корнеобитаемого слоя и т. д.

Нельзя игнорировать и технологический уровень: в экстенсивных системах гумус выступает как важный или даже единственный источник азота, но в интенсивном земледелии решающую роль приобретает его влияние на трансформационные свойства почвы. К тому же нужно количественно выразить агрономическую значимость собственно гумусовых веществ и регулярного поступления свежего органического вещества прежде всего в виде растительных остатков. Последние тоже оказывают комплексное воздействие на различные почвенные процессы и при определенных условиях обеспечивают высокую продуктивность даже при очень низкой гумусированности почв. Достаточно вспомнить многовековую практику земледелия в аридных зонах. Выдвигался даже тезис, что большинство человечества кормят малогумусные почвы.

В зонах дерново-подзолистых или черноземных почв нашей страны веками доминировало экстенсивное земледелие, когда естественное плодородие в решающей степени определялось содержанием гумуса, с которым коррелируют обеспеченность биогенными элементами, водно-воздушный режим и другие агрономически важные параметры. Этим, очевидно, объясняется распространенная до сих пор точка зрения, что повышение гумусированности является главной компонентой роста производительной способности всех или большинства типов почв. Не случайно даже критерии их окультуренности базируются именно на уровне содержания гумуса, то есть он выступает, хотя и в неявной форме, как цель окультуривания, а фактически служит лишь средством.

С точки зрения моделирования особую злободневность приобретают теперь экологические проблемы. Понимая под экологией в широком смысле изучение надорганизменных форм организации жизни во всех ее аспектах,

следует особо выделить почвенную экологию, которая стала оформляться как самостоятельная научная дисциплина лишь с недавних пор во многом благодаря широкому внедрению моделирования и количественных методов изучения. Экологический контроль (мониторинг) за функционированием агроэкосистем столь же обязателен, как и учет их продуктивности. Уже сегодня глобальный характер принимает проблема остаточного азота, например, в зонах хлопководства, где высокие ежегодные дозы азотных удобрений сочетаются с оросительными нормами порядка 8-12 тыс. м³/га и более за вегетацию.

Сложность заключается в том, что в моделях недостаточно иметь данные об общей схеме баланса азота в той или иной почве и примерные значения его приходных и расходных статей. Для оперативного управления нужна текущая информация применительно к конкретным условиям данного контура или поля, поскольку процессы трансформации и миграции зависят от очень многих факторов (механический и агрегатный состав и его изменение по профилю, гидрологический режим, темпы поглощения азота растениями и т. д.). Особенно мобильны нитраты, выщелачивание которых за пределы почвенного профиля вызывает цепную реакцию экологических нарушений.

В общем плане управление плодородием почв трактуется как разработка теоретических принципов и методов их материальной реализации на практике для целенаправленного изменения основных функциональных характеристик почв. Его основой является количественное выражение взаимозависимостей в системе почва - технология - продуктивность, а прагматической задачей - определение почвенных параметров, требующих изменения до заданных значений, и необходимых для этого приемов. Все мероприятия по повышению производительной способности почв можно разделить на две относительно автономные, хотя и взаимосвязанные категории: 1 - непосредственное повышение плодородия почв (прямое воздействие); 2 - оптимизация его использования за счет организационно-технологической модернизации (косвенный или мобилизующий эффект). Соответственно возможен разный иерархический уровень задач, их размерность, целевые функции,

критерии оптимальности, и, следовательно, необходима разработка системы различных моделей управления.

5.5. Принципы моделирования и выбор моделей

Усложнение почвоведения как науки и объективная сложность почвы как многокомпонентной системы делают необходимым поместить между исследованием и объектом промежуточное звено - модель, которая объективно отражала бы основные характеристики. Таким образом, моделирование представляет процесс познания как последовательные фазы: объект (почва) – модель-теория. Это общенаучный междисциплинарный метод исследований, позволяющий переносить информацию из одних областей на другие, что крайне важно при анализе таких сложных систем, как почва. Модели облегчают их более адекватное и конструктивное описание.

Выбор методологии моделирования определяется поставленными целями. Наибольшее распространение получили простые с математической точки зрения модели, основанные на корреляционном и регрессионном анализе. Они широко используются при характеристике режимов и свойств почв, а также их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур. Познавательная ценность таких моделей и возможности их использования в дальнейшем бесспорны.

Поэтому была выбрана другая стратегия развития моделирования плодородия, успешно апробированная в смежных науках. Процесс развития моделирования обычно подразделяется на ряд последовательных этапов, каждому из которых соответствует свой тип моделей. Модели первого поколения должны быть достаточно простыми. В их основе положены статистические данные и материалы экспертиз. Оценки, сделанные с помощью таких моделей, - это некоторые вехи, без них трудно представить себе общую ситуацию и правильно сфокусировать усилия исследователей. Но надо иметь в виду, что конечная цель - это построение имитационной системы, позволяющей анализировать различные варианты решения поставленной задачи. Поэтому

модели первого поколения (блок оценки ситуаций) должны сразу создаваться с учетом этого.

В литературе можно встретить многочисленные варианты толкования плодородия почв: естественное, природное, базисное, эффективное, текущее и т. д., причем разные авторы понимают их неоднозначно. Отсюда возникает принципиально важный вопрос о том, может ли фактическая урожайность сельскохозяйственных культур быть критерием плодородия?

К тому же урожайность во многом определяется погодными условиями, которые могут маскировать влияние почвы. В географических опытах в Западной Европе колебания по годам в урожайности зерновых на 58% были детерминированы погодными условиями и лишь на 16% различиями плодородия почв (опыты ставились на участках с высокоплодородными почвами).

Оперативная диагностика решает задачи и в ином, временном интервале, более узкие, применительно к конкретным посевам, агротехнике и т. д. Ареал, на который экстраполируются ее результаты, также гораздо меньше. Отсюда и различия в характере моделей, их структуре и целевых функциях. Эти модели служат дополнением или развитием базовых моделей, но не заменяют их. Для оперативного контроля используются методы почвенно-растительной диагностики, причем при анализе почвы центральное место отводится часто самым лабильным показателям (например, содержанию минерального азота).

5.6. Базовая модель плодородия почв

Указанным положениям полностью отвечает концепция базовой (квалифицированной как статической или экспертно-описательной) модели плодородия почв, которая положена в основу современных разработок Почвенного института имени В.В. Докучаева. Проблема моделирования расширенного воспроизводства плодородия почв была предметом всестороннего обсуждения на совещаниях общества почвоведов. Помимо выработки основных понятий, обсуждения принципиальных методических

вопросов, были рассмотрены модели плодородия некоторых почвенных типов.

Под моделью плодородия почв понимается совокупность агрономически значимых свойств и почвенных режимов, отвечающих определенному уровню продуктивности растений. Такое определение позволяет выделить модели почв различных уровней плодородия (в том числе очень высокого, высокого и среднего). В совокупность агрономически значимых свойств наряду с агрохимическими показателями должны включаться морфолого-генетические особенности почв, показатели их физического состояния, биологические свойства, минералогический состав.

В основе формализованного описания модели лежит выбор главных переменных величин, отражающих ее состояние. Их выбор - один из важнейших этапов системного анализа (и нередко источник субъективизма). Общее число параметров, как правило, не должно превышать 15-20, в противном случае модель "не работает". Об этом свидетельствует практика построения моделей разных явлений. Поэтому важно учитывать информативность параметров, взаимосвязь между собой свойств и режимов почвы как сбалансированной системы, где гомеостаз поддерживается в основном за счет обратных отрицательных связей.

Дискуссии продолжаются главным образом по набору параметров и их значениям для отдельных почв. "Создание математической модели преследует своей целью прежде всего нахождение наименьшего числа существенных факторов, определяющих основные черты исследуемого явления, а затем составление максимально простого математического описания"¹.

Варьирование в значениях параметров одной и той же почвы между участками или массивами с близкой продуктивностью бывает довольно существенным. Одна из причин - проявление синергического (кооперативного) эффекта, то есть резкое усиление эффекта при взаимодействии двух или более факторов. Так, дефицит цинка в карбонатных почвах возрастает при повышении доз фосфора. В равной степени недостаточность магния для

растений может быстро достигнуть критических значений на почвах с низкой емкостью катионного обмена при избыточном содержании обменного калия. При его оптимальном уровне та же концентрация Mg^{2+} может не лимитировать урожайность.

В Нечерноземной зоне, например, в ряде случаев главным критерием ее оптимальности считалось осушение массивов, тогда как это только одна из переменных повышения плодородия почв. В итоге осушение проведено, но продуктивность земель возросла незначительно, а кое-где даже снизилась. Не были приняты во внимание другие почвенные параметры, как этого требует концепция моделей плодородия. Нарушение субоптимизации критериев бывает и при избыточном внесении азотных удобрений под овощные и бахчевые культуры. Их "допинговый эффект" на валовую урожайность не может компенсировать снижения качества продукции, включая повышенную аккумуляцию нитратов, а также их вымывание за пределы почвенного профиля, эвтрофирование водоемов и т. д.

Построение моделей плодородия не может быть одноразовым процессом. Создание первых вариантов предполагает последующее их совершенствование с целью более адекватной характеристики почв. Поэтому на всех этапах этой работы исключительно важна верификация моделей путем их проверки (итераций) с реальными агроэкосистемами. Если итеративные испытания показывают несоответствие между объектом и моделью, то неизбежны корректировки последней. Они могут включать, например, замену отдельных параметров или введение дополнительных, уточнение их градаций и т. д.

Такой путь позволяет конкретизировать структуру и содержание моделей применительно к свойствам и режимам почв, придать им большую конструктивность. Так, при проявлении слитогенеза может возникнуть необходимость во включении дополнительных параметров, отражающих физические свойства почв. Сопоставление моделей с их природными прототипами послужит основой для уточнения оптимальных и граничных (критических) значений ряда параметров с учетом их взаимосвязи и

взаимообусловленности. Например, критерии обеспеченности пахотного горизонта калием (по содержанию его обменных форм) могут варьировать в зависимости от соотношений одно- и двухвалентных катионов, гумусированности и т. д. Итеративные испытания в процессе моделирования нужны также для уточнения географии моделей, их территориальной дифференциации.

Проверка адекватности моделей может проводиться несколькими способами. Наиболее простой - непосредственное сравнение с агроэкосистемами, обеспечивающими в данных условиях стабильно высокую продуктивность. Но характеристики их почвенных параметров нужно оценивать с учетом технологического уровня и влияния погодных факторов. Очень важно учесть типичность эталонных хозяйств для данного района. Известны случаи, когда, например, повышение урожайности отдельных массивов определялось в первую очередь лучшей влагообеспеченностью растений за счет капиллярного поднятия при близко залегающих грунтовых водах. Естественно, что в подобных ситуациях экстраполировать данные можно лишь для земельных массивов с аналогичным гидрологическим режимом.

В варианте базовой модели, хотя и в статичной, упрощенной форме, отражены практически все блоки свойств, обуславливающих плодородие почв. Ограниченное количество параметров в известной степени компенсируется их интегральным характером, так как в саморегулирующихся системах изменения показателей взаимосвязаны.

Простота базовой модели является важным ее преимуществом не только с точки зрения доступности широкому кругу специалистов. ”Практика неопровержимо доказывает, что эффективность модели находится в обратной зависимости от ее сложности, быстро убывая с ростом последней. Это вынуждает весьма существенно огрублять модель, жертвуя точностью и корректностью ради того, чтобы обеспечить хотя бы приближенное решение задачи. Чрезмерная точность модели на практике не менее вредна, чем ее неполнота или грубость.

В выборе параметров базовых моделей в связи с зонально-региональной дифференциацией почвенных характеристик и особенно лимитирующих компонентов учитывается важное методологическое положение моделирования, согласно которому основная функция любого типа модели состоит в том, чтобы содержать информацию по тем характеристикам объекта, которые существенны для решения данной задачи. Отсюда наборы параметров, составляющих модели почв различных зон и регионов (например, гумидных и аридных территорий и т. д.), по номенклатуре и в количественном отношении различны. В параметрическом отношении модели конкретизируются в связи со спецификой выраженности негативных явлений в почвенном покрове страны, закономерности и тенденции которых рассматриваются в следующей главе.

Важным теоретическим положением моделирования плодородия почв является представление о модели как образе почв различных иерархических классификационных уровней, характеризующихся теми нормативными количественными показателями, которые их диагностируют в генетической классификационной системе. Модели плодородия антропогенно-нарушенных почв существенно (а для ряда почвенных типов и радикально) отличаются от совокупных характеристик целинных аналогов. Особенно справедливо это для почв, освоение которых сопровождается резким нарушением вертикального профиля. Это мелиорированные солонцы, плантажированные почвы дифференцированного профиля и др.

Модели плодородия почв не следует понимать лишь в плане эдафической характеристики, независимой от возможностей произрастания и продуктивности растений. Они должны соответствовать определенным сельскохозяйственным культурам или группам культур, то есть быть моделями плодородия агроэкосистем. Система почва - растения едина, кинетика жизни растений должна находиться в связи с сезонной динамикой элементов почвообразования.

Более того, расширяя представления о свойствах почв до уровня пространственной неоднородности (структур почвенного покрова различной

степени сложности) и принимая во внимание необходимость оценки плодородия почв не только в связи с возделыванием отдельных сельскохозяйственных культур (групп культур, близких по требовательности), но и в целом в системе севооборота культур, часто весьма разнотребовательных к почвенным условиям, можно заключить о необходимости ранжировать модели плодородия, имея соответствующую ранжировку агроэкосистем.

Использование моделей плодородия почв в системах почвозащитного земледелия включает два аспекта.

Во-первых, необходима регионализация их в соответствии с существующим сельскохозяйственным районированием и типологией структур почвенного покрова. Территориальной основой географии моделей плодородия почв может служить схема специализированного районирования для совершенствования зональных систем земледелия.

Во-вторых, расширенное воспроизводство почвенного плодородия до уровней почвенных моделей должно базироваться на картографировании элементов плодородия (входящих в систему модели), выявлении территорий пашни и других сельскохозяйственных угодий, не отвечающих требованиям моделей высокопродуктивных агроэкосистем. Должны разрабатываться нормативные решения восполнения дефицитных элементов плодородия до уровня модели высокопродуктивной экологической системы.

5.7. Модификации и декомпозиции базовых моделей

Базовые модели являются фундаментом для развития всех работ по моделированию плодородия почв в ближайшие годы. На основе одной базовой модели можно построить несколько вариантов, меняя значения только части параметров.

В процессе развития управления расширенным воспроизводством плодородия почв базовые модели становятся основой формирования моделей второго поколения, которыми являются модели управления плодородием почв, в том числе имитационные в режиме диалога.

Адекватность базовой модели объектам повышается прежде всего путем

модельной "расшифровки" составляющих ее блоков. Любой из них может характеризоваться разными моделями, что в итоге повысит точность выходных данных. В частности, уже сейчас можно использовать балансовые модели гумуса и макроэлементов для дерново-подзолистых, пойменных и черноземных почв. Крайне желательно усилить разработку динамических моделей почвенных режимов, процессов антропогенной эволюции почв и др. Необходимо, однако, заблаговременно обеспечить информационную совместимость всех полученных выходных данных.

Наряду с работой по созданию статических моделей плодородных почв продолжается работа по разработке моделей следующего поколения, объединяющих параметрический подход со структурно-функциональным. Такой комплексный подход позволит учесть исключительную сложность строения и жизни почв как частей сельскохозяйственных экосистем (ландшафтов, биогеоценозов), обеспечить максимальную практическую отдачу моделей плодородных почв.

Таким образом, для разработки более совершенных моделей плодородных почв необходимо создать единую теорию состава, организации, функционирования и свойств почв и почвенного покрова в изменчивых условиях почвообразования, включая мелиоративные и агротехнические условия. Такая теория обеспечит возможность прогнозирования взаимоотношений почв и растений на всех этапах развития последних в нестабильных почвенных, погодных, климатических условиях и позволит осуществлять строго дифференцированные и точно направленные управляющие воздействия на почвы для получения максимального количества сельскохозяйственной продукции.

5.8. Математическое обеспечение почвенного моделирования

Для почвоведения в целом и для агропочвоведения в частности обязательным условием дальнейшего прогресса стало широкое использование принципов и методов информатики и кибернетики. Логико-математический и информационный аппарат кибернетики применительно к почвоведению требует расширения ареала и сферы применения прикладной математики.

Формализованное описание почв требует учета их основных свойств и режимов (либо непосредственно, либо косвенно) за счет взаимокорреляций между параметрами. В последнем случае один или несколько из них с более или менее достаточной надежностью характеризуют всю группу.

Многообразие почвенных показателей, учитываемых при исследовании плодородия почв, а также многообразие воздействий на почву в ходе сельскохозяйственного использования (система удобрений, обработки и т. д.), экологических условий, временная динамика названных параметров - все это затрудняет обобщение материалов традиционными методами.

Важнейшая задача в математическом обеспечении плодородия почв — создание базы знаний для системы управления плодородием. Накопление информации и перевод ее на ЭВМ при разработке региональных моделей плодородия вызывает необходимость максимальной унификации методов исследований.

Адекватность базовой модели плодородия почв объектам будет также повышаться путем декомпозиции ее на составляющие блоки. Уже сейчас можно использовать балансовые модели гумуса и макроэлементов для дерново-подзолистых, пойменных и черноземных почв, разработанные в Почвенном институте имени В.В. Докучаева. Крайне важно ускорить разработку динамических моделей почвенных режимов, процессов антропогенной эволюции почв и других, предусмотрев возможность агрегации всех полученных выходных данных. Завершение этого этапа создаст предпосылки для преобразования базовых моделей из статических в динамические, реализуемые на ЭВМ. Модели второго поколения будут ориентированы не только на

оценку плодородия, но и на выбор оптимальных траекторий его повышения.

5. 9. Многофакторный эксперимент как основа моделирования плодородия почв

Управление расширенным воспроизводством плодородия почв как важным компонентом зональных почвозащитных систем земледелия основывается на прогностических исследованиях совокупного влияния антропогенных факторов воздействия на свойства почвы и ее режимы. Фундаментальным методом комплексных исследований в рамках познания процесса регулирования плодородия почв в настоящее время признается многофакторный полевой эксперимент целевого назначения.

Возможности многофакторных опытов убедительно раскрываются при анализе материалов 70-летнего полевого опыта Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева. Длительное бесменное возделывание озимой ржи, овса, льна и бесменного пара без применения удобрений и известкования привело к созданию модели (I) плодородия, близкой по своим параметрам к критической. Крайне низкое содержание органического вещества, неблагоприятный его состав, низкая общая биогенность почвы при одновременно высокой ее зараженности и засоренности - таково состояние биологических факторов этой модели. Почва бесструктурна, имеет высокую плотность сложения, характеризуется низким содержанием усвояемых форм питательных элементов и неблагоприятными физико-химическими свойствами. Спецификой этой модели низкого плодородия почв является вещественная и энергетическая дефицитность их баланса, а также неблагоприятное фитосанитарное состояние почвы. В результате модель бесменных культур в целом при благоприятных погодных условиях региона и использовании районированных сортов полевых культур даже в условиях опытного поля характеризуется низкой производительностью.

В другие варианты (модель II) введен новый элемент - чередование культур в системе плодосменного севооборота, который имел в шестилетней

ротации по одному полю клевера и чистого пара. Введение севооборота привело в целом к существенному изменению большинства компонентов почвенного плодородия в сравнении с моделью I. Это и понятно, если проанализировать условия воспроизводства модели II, которые, по существу, мало отличаются от условий воспроизводства модели I (отсутствие удобрений, несколько большее количество растительных остатков). Однако чередование культур в севообороте резко изменило экологическую обстановку почвы: значительно снизился энтофитопатологический потенциал, уменьшилась засоренность, возросла активность агрономически важных физиологических групп микроорганизмов.

В модели III наряду с севооборотом действует новый сильный фактор воспроизводства плодородия - систематическое применение минеральных удобрений. Систематическое внесение минеральных удобрений обусловило значительное улучшение питательного режима почвы, что в совокупности с благоприятными фитосанитарными и погодными условиями обеспечило возрастание продуктивности.

Модели IV и V характеризуются агротехническим комплексом, обеспечивающим расширенное воспроизводство плодородия дерново-подзолистой почвы по всем факторам. Достигнутый в опыте уровень плодородия для данной почвенной разновидности, по нашему мнению, близок к оптимальному для современного интенсивного земледелия Нечерноземной зоны. С точки зрения практики в рассматриваемой модели воспроизводства плодородия спорным является наличие в севообороте чистого пара. Это обстоятельство сопряжено с дополнительными, весьма значительными затратами на воспроизводство прежде всего органического вещества почвы. Однако благодаря наличию чистого пара в севообороте происходит заметное искусственное снижение производительности модели. Несмотря на сказанное, в длительном опыте IV и V модели плодородия обеспечивают максимальные урожаи, их стабильность во времени и высокое качество продукции.

В многофакторных опытах по изучению плодородия почв уровни

варьирования факторов предпочтительно выбирать не по принципу контрастности, а на основе ранее полученных (в том числе в однофакторных опытах) научных рекомендаций по данному агроприему. Число уровней (градаций) факторов должно отвечать современным требованиям математической статистики для построения адекватных математических моделей по интегральным показателям.

В целях углубления исследований по отдельным вопросам многофакторный опыт дополняется постановкой на том же опытном поле однофакторных экспериментов, проведением микрополевых и вегетационных исследований. Программа наблюдений включает широкий ряд параметров плодородия почв, биометрические исследования роста растений, оценку их продуктивности.

5.10. Использование космических материалов в картографировании компонентов плодородия почв

Исследования Почвенного института имени В.В. Докучаева, анализ новейших разработок по применению космических материалов в изучении агроресурсов показали реальную возможность и большую эффективность использования космических снимков в почвенно-картографических целях.

Наряду с широким использованием в составлении Государственной почвенной карты масштаба 1:1000000 и создании среднемасштабных почвенных карт, материалы дистанционных космических исследований вносят существенные изменения в методологию крупномасштабного картографирования почв и отдельных компонентов их плодородия. Космические снимки позволяют значительно повысить информативность и точность почвенно-картографических материалов, обеспечивают оперативность их получения. Разные виды космической информации (фотографические, сканерные, радиолокационный и др.) позволяют уточнять конфигурацию почвенных контуров, углублять внутриконтурное содержание, показать ассоциированность почв, дешифровать основные почвенные выделы и

раскрыть ряд агрономически важных свойств. В целом возможности космических снимков в почвенной картографии не только рассматриваются в качестве высокоточной и оперативно обновляемой картографической основы, но и высоко оцениваются как документированный источник информации о почвах и почвенном покрове.

На основе машинного дешифрирования идентифицируются и охарактеризовываются в виде картографических материалов такие свойства почв, как гидроморфизм, гумусность, эродированность, каменистость, неоднородность почвенного покрова. Машинное дешифрирование объективизирует обработку космических снимков, что уточняет, повышает достоверность оценок почвенных характеристик, а при анализе географической репрезентативности ряда показателей моделей плодородия существенно облегчает, ускоряет и в определенной мере формализует технологию этой важнейшей стороны управления моделями плодородия почв.

6. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ МЕЛИОРИРУЕМЫХ И ЭРОДИРУЕМЫХ ПОЧВ

6.1. Культуртехнические мероприятия

Из общей площади сельскохозяйственных земель 40% заросли кустарником, засорены камнями и покрыты кочками. Наиболее интенсивно процессы зарастания протекают на естественных кормовых угодьях. Только за последние 25 лет более 30 млн. га кормовых и пахотных угодий ушли под кустарник и кочки. Для восстановления их потенциала проводятся культуртехнические мероприятия. Они направлены на выполнение комплекса работ, которые обеспечивают приведение поверхности мелиорируемых земель в состояние, пригодное для интенсивного сельскохозяйственного использования при максимальном сохранении и умножении естественного плодородия почвы, улучшении состояния почвенного покрова. Это достигается

очисткой земель от малоценного мелколесья и кустарника, уборкой камней, планировкой и мероприятиями по первичному окультуриванию почвы.

Земли, на которых проводятся культуртехнические работы, могут быть подразделены на три основные группы:

1. Вновь осваиваемые земли, заросшие древесно-кустарниковой растительностью (ДКР), засоренные камнями.

2. Земли, выбывшие из сельскохозяйственного использования (залежи, перелог).

3. Земли, находящиеся в сельскохозяйственной эксплуатации, но нуждающиеся в проведении определенных видов культуртехнических работ (пашня, луга, пастбища, сенокосы).

В состав культуртехнических работ входят:

- удаление древесно-кустарниковой растительности;
- уборка камней;
- ликвидация кочек;
- первичная обработка почвы;
- рыхление и кротование тяжелых и вторично уплотненных почв;
- внесение химмелиорантов на кислых и загипсованных почвах;
- планировка и выравнивание поверхности земель;
- создание культурных лугов и пастбищ.

Культуртехнические работы выполняются в полном объеме при первичном освоении осушаемых и суходольных земель, а частично - при улучшении мелиоративного состояния сельскохозяйственных угодий. В этих случаях основной упор делается на восстановление сельскохозяйственного потенциала естественных кормовых угодий, пастбищ, сенокосов и лугов.

Улучшение старопахотных угодий связано с устранением мелкоконтурности, удалением выпавшихся камней, ликвидацией вторичного уплотнения подпахотного горизонта, планировкой и выравниванием поверхности длинно-базовыми планировщиками и специальными

выравнивателями.

При коренном улучшении выродившихся лугов и пастбищ производят удаление кустарника, отдельных крупных, средних камней, вспашку с частичным или полным оборотом пласта и его разделку, удаление мелких камней из обрабатываемого слоя и с поверхности земель.

При поверхностном улучшении луга и пастбища очищают от кустарника, отдельных камней. Затем заравнивают ямы, рыхлят или фрезеруют уплотненный дерновый слой, уничтожают кочки, создавая благоприятные условия для нового травостоя. Культурные сенокосы и пастбища можно создавать на плодородных и бедных гумусом почвах.

При производстве культуртехнических работ наиболее трудоемкими операциями являются удаление ДКР, камней, уничтожение кочек и т.д. Все это направлено на подготовку поверхности почвы к сельскохозяйственным работам. Задача первичной обработки заключается в уничтожении мелких кочек, дикой травянистой растительности, разделке дернины и ускорении ее разложения.

Осушаемые и суходольные земли обрабатываются отвальной вспашкой с последующей разделкой пласта сельскохозяйственными дисковыми боронами. Почвы, очищенные от большого количества древесных остатков, обрабатывают тяжелыми мелиоративными боронами с поворотом пласта на 110-120°. Размельчение крупных глыб осуществляют также дисковыми сельскохозяйственными боронами.

Обработку почвы при поверхностном улучшении лугов и пастбищ осуществляют болотными фрезами и тяжелыми мелиоративными боронами. Первичная обработка завершается выравниванием поверхности земель прицепными планировщиками и специальными выравнивателями.

При производстве культуртехнических работ необходимо максимально сохранять естественное плодородие осваиваемых почв. Технологии освоения закустаренных и засоренных камнями и кочками земель выбираются с учетом

характера последующего использования площади, в частности, с учетом требований сельскохозяйственных культур к качеству первичной обработки земель.

Важнейшим является также требование к созданию условий для максимальной комплексной механизации всех технологических процессов производства культуртехнических работ с применением современных высокопроизводительных машин, обеспечивающих наиболее высокий уровень эффективности производства.

В мировой практике производства мелиоративных работ наблюдается устойчивая тенденция перехода на универсальные технологии и машины, позволяющие выполнять ряд технологических операций за один проход, что позволяет существенно снижать техногенную нагрузку на почву.

Расчистку земель от древесно-кустарниковой растительности и пней выполняют следующими основными способами:

- срезкой с последующим сгребанием в кучи (валы) и вывозкой (сжиганием) древесины;
- корчеванием с последующим сгребанием выкорчеванной массы;
- запашкой кустарника.

6.2. Повышение плодородия мелиорируемых почв

Мелиорация земель дает возможность не только расширить сельскохозяйственный фонд страны, но и резко повысить плодородие уже используемых земель. Она создает необходимые условия для получения высоких и устойчивых урожаев.

Для проведения мелиоративных работ необходимы технически совершенные мелиоративные системы – долговечные, экономичные и обеспечивающие высокоэффективное использование орошаемых и осушенных земель. Анализ причин проявления негативных процессов при развитии мелиорации в нашей стране и за рубежом показал необходимость совершенствования конструкций традиционных мелиоративных систем с целью более тесной увязки их с конкретными ландшафтами и природно-климатическими условиями районов, где возможно их осуществление.

Концепция создания гидромелиоративных систем (ГМС) нового поколения заключается в следующем: они должны являться составной частью агромелиоративного ландшафта каждой природно-климатической зоны, обеспечивая его экологическую и социальную устойчивость, а так же высокую продуктивность.

На оросительных системах осуществляются комплексы мероприятий, включающие водосберегающие режимы орошения сельскохозяйственных культур, противочрезмерные меры на всех звеньях каналов и трубопроводов оросительной сети, водосберегающие технологии орошения, уменьшающие опасность подъема уровня грунтовых вод, снижающие объемы коллекторно-дренажного стока и уменьшающие водозабор из источников орошения.

На осушительных системах нового поколения осуществляется двойное регулирование водного режима почв, для чего используется часть объема воды, сбрасываемого с осушаемых территорий в период осушения, аккумулированного в специальных прудах-водоемах. Системы двойного регулирования позволяют так же создать оптимальный водный режим почв, обеспечивающий поддержание и повышение их плодородия, высокую продуктивность сельскохозяйственных культур и сокращение объемов коллекторно-сбросного стока.

Основными критериями совершенствования мелиоративных систем должны стать надежность и долговечность, управляемость, экономическая эффективность, высокая производительность труда, ресурсосберегаемость, экологическая безопасность.

Одним из основных условий, способствующих повышению продуктивности орошаемых земель, должно стать освоение наукоемких технологий возделывания сельскохозяйственных культур, строго согласованных с планируемой продуктивностью агроценозов с учетом тепло- и влагообеспеченности, естественного плодородия почв, используемых способов

техники орошения, экологической безопасности, рыночной стоимости сельскохозяйственной продукции, объема потребления ее внутренним рынком и возможности экспорта. По каждому хозяйству следует уточнить направление специализации орошаемого земледелия: овощеводство, плодоводство, производство зерна, кормов или технических культур.

Для улучшения микроклимата орошаемого поля проводится создание полезащитных лесных полос. В современных условиях проведение агролесомелиорации направлено на поддержание плодородия почв сельскохозяйственных угодий, повышение содержания в почвах органического вещества, оптимизации в них баланса азота, фосфора, калия. Агролесомелиорация предусматривает защиту почв от ветровой эрозии.

Эффективность орошения без удобрений значительно ниже, чем в сочетании с ними. Поэтому нужно признать обязательным соединение орошения с удобрением. Ведение орошения без применения научно обоснованных норм внесения минеральных удобрений экономически нецелесообразно и экологически опасно.

Внесение удобрений с поливной водой позволяет значительно сократить производственные затраты и повысить эффективность минеральных удобрений. При этом легкодоступные питательные вещества равномерно размещаются во всем увлажняемом слое почвы и по площади. Внесение удобрений с поливной водой при дождевании сочетает в себе элементы корневой и некорневой подкормки растений.

Планируемую продуктивность орошаемых земель следует ориентировать на реализацию природного энергетического фактора, измеряемого коэффициентом полезного действия (КПД) утилизации фотосинтетически активной радиации (ФАР). Программирование урожая – один из наиболее перспективных путей повышения эффективности орошаемого земледелия. Программирование урожая под заданную максимально возможную его величину объединяет комплекс расчетных методов по системе удобрений,

рациональным режимам орошения, другим агротехническим приемам, отвечающим основным положениям законов земледелия, в совокупности с соблюдением всех требований по охране окружающей среды.

6.3. Сохранение плодородия почв, подверженных эрозионным процессам

Водная эрозия и дефляция (ветровая эрозия почв) – одни из основных видов деградации, которые характеризуются разрушением и истощением почвенного покрова. При этом, изменяются его физические, химические свойства, ухудшается водный режим, происходит переотложение почвенного материала по элементам рельефа. Эрозия почв связана с удалением естественной растительности и неправильным их использованием. Она наблюдается в районах с расчлененным рельефом, преимущественно в степной и лесостепной зонах, где почвы используют без специальных противоэрозионных мероприятий.

Доля эродированных и дефлированных земель продолжает неуклонно увеличиваться. В течение последних 20 лет темпы прироста этих земель достигают 1,5 млн. га в год.

На эродированных почвах значительно падают урожаи зерновых, технических, кормовых и других культур. По данным многочисленных опытов, урожайность зерновых на слабосмытых почвах снижается на 10-30%, на средне-смытых - на 30% и на сильносмытых - на 50%. Смыв и размыв почвы на пастбищных землях вызывает уменьшение урожаев сена в 2-3 раза и более.

Основные причины водной эрозии – это отсутствие растительности на склоновых землях, чрезмерный выпас скота и сплошная вырубка лесокустарниковой растительности, а также рельеф местности: крутизна и длина склонов, их форма. Как правило, при крутизне склонов 1,5-2° намечается смыв почвы, а при уклонах 3° и более эрозия развивается еще заметнее и

интенсивнее. Интенсивность смыва почвы зависит также от экспозиции склона и типа почвы, ее структурности и гранулометрического состава.

Борьбу с эрозией необходимо вести на основе почвозащитного агроландшафтного земледелия. Высокий эффект обеспечивают научно обоснованные севообороты, рациональные приемы обработки почвы, посев и уход за посевами, внесение удобрений, травосеяние, устройство лесных полос, препятствий на поверхности почвы воде и ветру (оставление стерни, создание кулис из многолетних растений), регулирование снеготаяния, посев сидератов и промежуточных культур, выращивание культур и сортов с хорошо развитой корневой системой и применение соответствующей сельскохозяйственной техники.

Выбор и освоение почвозащитного севооборота зависит от природных и экономических условий хозяйства, рельефа местности, типа и степени ее эродированности. При разработке таких севооборотов учитывают почвозащитную способность различных культур. Чем сильнее развита надземная масса растений, мощнее их корневая система, полнее проектное покрытие почвы, тем надежнее защищена почва от эрозии. Надежной защитой почвы от водной эрозии может служить естественный растительный покров и особенно густой покров культурных растений. К ним относятся многолетние и однолетние травы, озимые и яровые зерновые культуры, гречиха и другие растения сплошного сева. Хороший травостой многолетних трав создает лучшие условия для охраны крутых склонов от смыва и размыва почв.

В борьбе с эрозией очень важное значение придается противоэрозионной обработке почвы.

Поля, подверженные сильной эрозии, не оставляют под чистым паром и не занимают пропашными культурами.

Почвозащитную роль севооборотов на склоновых землях можно существенно повысить, высевая промежуточные культуры, которые создают

хорошие условия для восстановления плодородия смытых почв и значительно повышают их противоэрозионную устойчивость. Эффективным приемом является полосное размещение культур, т.е. чередование полос, засеянных различными культурами, поперек склона.

На тяжелых почвах с плохой водопроницаемостью для регулирования поверхностного стока на склонах применяют кротование, при котором на глубине 35-40 см устраивают земляные ходы диаметром 6-8 см на расстоянии 70-140 см друг от друга. Эти ходы называют кротовинами. Кротование проводят кротовыми плугами или специальными машинами и навесными кротователями. Кротование значительно улучшает водный и воздушный режимы почвы. На почвах, расположенных на слабопокатых элементах рельефа с крутизной склона до 2-3°, регулирование поверхностного стока возможно простейшими агротехническими мероприятиями: глубокой вспашкой, вспашкой и рядовым посевом поперек склона и др.

Наиболее надежные средства защиты почвы от дефляции – сохранение стерни и других растительных остатков на поверхности поля, а также улучшение физических свойств почвы, в частности, улучшение ее структуры.

Противодефляционная обработка почвы предусматривает отказ от применения плуга и других почвообрабатывающих орудий, заделывающих растительные остатки, обработку почвы орудиями плоскорезного типа, сохраняющими на поверхности почвы стерню и другие растительные остатки.

Для предотвращения дефляции почв созданы почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, основанные на безотвальной мульчирующей обработке почвы с сохранением на поверхности почвы стерни и пожнивных остатков, с использованием противодефляционной техники, обеспечивающие надежную защиту почвы и посевов от деградации, снижение затрат и повышение продуктивности пахотных угодий.

6.4. Приемы улучшения почв с использованием структурообразователей и мелиорантов.

Для улучшения свойств почв и их водного режима, наряду с системой агротехнических и мелиоративных мероприятий используются различные структурообразователи и мелиоранты. Они позволяют оструктурировать распыляемые почвы, улучшить водпрочность их структуры, повысить водопроницаемость тяжелых почв и водоудерживающую способность легких по гранулометрическому составу почв.

Искусственные структурообразователи оказывают большой эффект на водпрочность почвенных агрегатов. Так, при внесении в почву натриевой соли метакриловой кислоты в дозе 0,05% к массе почвы содержание водпрочных агрегатов повышалось по сравнению с контролем на 43-66%. В почве с водпрочными микроагрегатами, образованными с помощью полимеров, создаются значительно более благоприятные водные и физические свойства. Корни растений значительно глубже проникают в подпахотный горизонт, а также энергичнее идет процесс нитрификации и накопления нитратов в почве с искусственными макроагрегатами.

На распыленных бесструктурных почвах после выпадения атмосферных осадков или после орошения образуется корка на поверхности и всходы растений не могут пробиться на поверхность. Оструктурированием слоя 0-5 см можно улучшить получение всходов. Из-за дороговизны в производстве применяют опрыскивание узкой ленты почвы (10-15 см) вдоль рядков посева, расходуя в 10-15 раз меньше материала. Структурообразователи нашли широкое применение в борьбе с эрозионными процессами.

Для улучшения свойств легких почв, в том числе их водного режима, используют также природные минералы, обладающие высокими сорбционными свойствами.

Природные цеолиты обладают высокой сорбционной способностью удерживать питательные вещества, влагу. Емкость катионного и

молекулярного обмена этих минералов в 30-60 раз превышает соответствующие показатели песчаных и супесчаных почв. Предпочтительнее использовать Са, Са-Mg и К-цеолиты. При этом указывается, что необходим строгий контроль микроэлементного состава породы.

Сохранение влаги в пахотном слое почвы за счет цеолита дает возможность более эффективно использовать атмосферные осадки на богарных участках и позволяет уменьшить норму полива в условиях орошения.

Для улучшения мелиорируемых почв широкое распространение получили химические мелиоранты. На осушаемых почвах с низкими показателями рН применяется известь. Помимо извести в почву вносятся такие кальций-содержащие мелиоранты, как известняковая (доломитовая, магнезиальная) мука, известьсодержащие отходы промышленности (феррохромовые шлаки, зола каменноугольная, сланцевая зола, отход при производстве азотофоски и пр.). При использовании указанных мелиорантов могут возникнуть проблемы дополнительного поступления тяжелых металлов от вносимых веществ.

В качестве мелиоранта при освоении солонцов в почву вводят растворимые соли кальция в виде кальциевой селитры, хлористого кальция и других солей. Применяют и кислование солонцов: почву поливают растворами кислот или вносят кислые отходы промышленности, содержащие серную, сернистую, азотистую, соляную кислоты, серу, железный купорос, полимерные соединения, обладающие коагулирующими свойствами.

К компонентному составу вновь создаваемых мелиорантов предъявляются следующие требования:

1. Высокая емкость поглощения композиции.
2. Одновременное присутствие органической и минеральной составляющих в композиции.
3. Физиологическая нейтральность (рН — 6,0...7,5).
4. При внесении композиции в почву реакция почвенной смеси должна устраниваться в пределах рН = 5,6...7,6.

5. Способность композиции адсорбировать подвижные формы тяжелых металлов, переводя их в неподвижные формы.
6. Повышенная гидроаккумулирующая способность композиции.
7. Наличие в композиции структурообразователя.

Литература

1. Алейников М. М. Почвенная фауна как фактор плодородия почв и ее охраны - В сб.: Перспективы применения биологического метода борьбы с вредителями сельского хозяйства в Татарской АССР в связи с охраной окружающей среды. - Казань, 1981.
2. Андроников В. Л., Афанасьева Т. В., Калнина В. А., Королюк Т. В., Панкова Е.И. Теоретические и методические основы изучения почвенного покрова дистанционными методами. - В сб.: Успехи почвоведения. - М., 1986.
3. Балаян Г. Г., Жарикова Г. Г. Информационно-логические модели научных исследований. - М., 1978.
4. Бондарев А. Г., Бахтин П. У., Воронин А. Д. Физические и физикотехнологические основы плодородия почв. - В сб.: 100 лет генетического почвоведения. - М., 1986.
5. Дмитриев Е. А., Пачепский Я. А., Рожков В. А. Применение математических методов в почвоведении. - В сб.: 100 лет генетического почвоведения. - М., 1986.
6. Дьяконова К. В. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. - М., 1984.
7. Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.Н. Критерии и модели плодородия почв. ВАСХНИЛ. – М.: Агропромиздат,. – 184 с. 1987

Учебно - методическое издание

Виталий Николаевич Дышко

Управление плодородием почв
Курс лекций для аспирантов

Подписано в печать ____ ____ 201__ г. Формат 60x84/8.

Печ. л. 10,88 Тираж _____ экз.

Заказ № _____

ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА»
214000, Смоленск, ул. Б. Советская, 10/2