

**ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ»
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**

**В.Г. ЛАРЕШИН, Н.Н. БУШУЕВ,
В.Т. СКОРИКОВ, А.В. ШУРАВИЛИН**

**СОХРАНЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ
ПЛОДОРОДИЯ ЗЕМЕЛЬ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

Учебное пособие

Москва

2008

*Инновационная образовательная программа
Российского университета дружбы народов*

**«Создание комплекса инновационных образовательных программ
и формирование инновационной образовательной среды,
позволяющих эффективно реализовывать государственные интересы РФ
через систему экспорта образовательных услуг»**

Экспертное заключение –
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор *Пекеньо Хесус Петрович (Хесус Пекеньо Перес)*

Ларешин В.Г., Бушуев Н.Н., Скориков В.Т., Шуравилин А.В.

Сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 172 с.: ил.

В учебном пособии, подготовленном в рамках программ дополнительного последиplomного образования (ДПО), обобщены многолетние исследования учебных и научно-исследовательских центров, а также производственный опыт по проблеме сохранения и повышения плодородия почв: теория, методология оценки и прогноза плодородия, оценка современного состояния почвенных ресурсов, принципы моделирования плодородия почв и его воспроизводство.

Для специалистов в области земледелия, мелиорации, почвоведения, агрохимии, экологии, рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Учебное пособие выполнено в рамках инновационной образовательной программы Российского университета дружбы народов, направление «Комплекс экспортоориентированных инновационных образовательных программ по приоритетным направлениям науки и технологий», и входит в состав учебно-методического комплекса, включающего описание курса, программу и электронный учебник.

© Ларешин В.Г., Бушуев Н.Н., Скориков В.Т., Шуравилин А.В., 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Раздел 1. Теоретические основы сохранения и повышения плодородия сельскохозяйственных почв	7
1.1. Состояние и проблемы плодородия почв	7
1.2. Современная теория и методология моделирования плодородия почв	13
1.3. Воспроизводство и регулирование содержания в почвах гумуса	21
1.4. Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв.	25
Раздел 2. Повышение плодородия антропогенно загрязненных почв сельскохозяйственного назначения	31
2.1. Источники загрязнения почв тяжелыми металлами и другими токсикантами	31
2.2. Процессы взаимодействия загрязнителей с почвенными компонентами	36
2.3. Поступление тяжелых металлов и радионуклидов в растения.	
Распределение и накопление токсикантов в органах растений	43
2.4. Меры борьбы с загрязнением почв	46
2.5. Повышение урожайности и качества продукции	51
Раздел 3. Современные технологии повышения плодородия почв в земледелии	56
3.1. Энергосберегающие системы обработки почвы, повышающие ее плодородие	56
3.2. Научные основы севооборотов в повышении плодородия почв.....	68
3.3. Использование пожнивных сидеральных культур и соломы для воспроизводства органического вещества почв.....	76
3.4. Использование органических удобрений, сапропелей и отходов производства в поддержании гумусового состояния почв	86
3.5. Технология возделывания сельскохозяйственных культур на основе адаптивно-ландшафтного земледелия	93

Раздел 4. Энергосберегающие и экологически безопасные мероприятия по повышению плодородия мелиорируемых и эродлируемых почв.....	100
4.1. Культуртехнические мероприятия	100
4.2. Повышение плодородия мелиорируемых почв.....	108
4.3. Сохранение плодородия почв, подверженных эрозионным процессам.....	119
4.4. Приемы улучшения почв с использованием структурообразователей и мелиорантов	127
Литература.....	136
Описание курса и программа.....	141

ВВЕДЕНИЕ

Проблема сохранения и повышения плодородия 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. К сожалению, в учебных курсах рассматриваемые вопросы по проблеме повышения плодородия почв не находят достаточного отражения. Разработанный курс является принципиально новым и не имеющим аналогов в системе образовательных учреждений.

В работе обобщены многолетние исследования учебных и научно-исследовательских заведений, а также накопленный производственный опыт по проблеме сохранения и повышения плодородия почв. Освещены вопросы теории и методологии оценки и прогноза почвенного плодородия; дан анализ со-

временного состояния почвенных ресурсов страны, изложены принципы моделирования плодородия почв и его воспроизводства.

Рассмотрены технологические и агроэкологические критерии управления производительной способностью почв в агроэкосистемах, способы повышения плодородия антропогенно загрязненных почв, а также современные способы и технологии в земледелии и мелиорации.

Раздел 1. Теоретические основы сохранения и повышения плодородия сельскохозяйственных почв

1.1. Состояние и проблемы плодородия почв

По данным последних почвенных обследований (на 01.01.2005 г.) в РФ насчитывалось 220,7 млн. га сельскохозяйственных угодий, из них переувлажненные – 11,8%, эродированные – 19,1%, дефлированные – 9,8%, засоленные и солонцеватые – 18,1%.

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 Алтайском крае (при интенсивности смыва 18 т/га) - до 1,5-2,4 см, на Дальнем Востоке (при интенсивности смыва 35-55 т/га) - до 3-4,5 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, причем окупаемость затрат на противоэрозионные мероприятия весьма высока (Шишов Л.Л. с соавт., 1991).

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

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 – техно-

генное 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. Наиболее неблагоприятны в этом отношении пригородные зоны Магнитогорска, Кемерово и других городов, где расположены крупные промышленные предприятия.

Вовлечение в хозяйственную деятельность огромных объемов углеводородов 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.

В последние годы возникли проблемы агрогенного загрязнения сельскохозяйственной продукции, источников водоснабжения и почв в связи с плохой утилизацией стоков животноводческих комплексов, слабым контролем при внесении минеральных удобрений и пестицидов. Особенно это участилось при внедрении интенсивных технологий в овощеводстве и картофелеводстве, где проблемы нитратов, резкого ухудшения качества продукции становятся наиболее острыми. Особую опасность представляют пестициды. Многие из них весьма устойчивы и обнаруживаются в почвах через 5-15 лет после внесения.

Воздействуя на биоту, пестициды и минеральные удобрения становятся важным фактором эволюции почв, отдельные последствия которой пока труднопредсказуемы. С увеличением доз минеральных удобрений при систематическом внесении их без органических удобрений отмечено снижение биологической активности почв. Сужается видовое разнообразие микрофлоры, в биоценозе начинают доминировать фитопатогенные грибы, повышается токсичность почв.

Применение высоких доз азотных удобрений, особенно при недостатке фосфорных и калийных, приводит к накоплению в почве и растениях нитратов.

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.

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 негатив-

ных 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. Местами на переосушенных массивах торфяных почв проявляются процессы ветровой эрозии. Для того чтобы избежать быстрой сработки торфа, нужно обязательное соблюдение такой нормы осушения, при которой подпахотные горизонты осушаемых торфяных почв

в вегетационный период насыщены капиллярной влагой и биохимическая активность в них подавлена. Целесообразно использовать осушаемые торфяные почвы в кормовых севооборотах с большим процентом (более 50%) многолетних трав.

При проведении мелиоративных работ на минеральных почвах нередко нарушается их гумусовый горизонт. Даже если перед закладкой дрена 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.

1.2. 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.

В 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 (Неуймин Я.Г., 1984, с дополнениями). Она приведена на рисунке 1. 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.

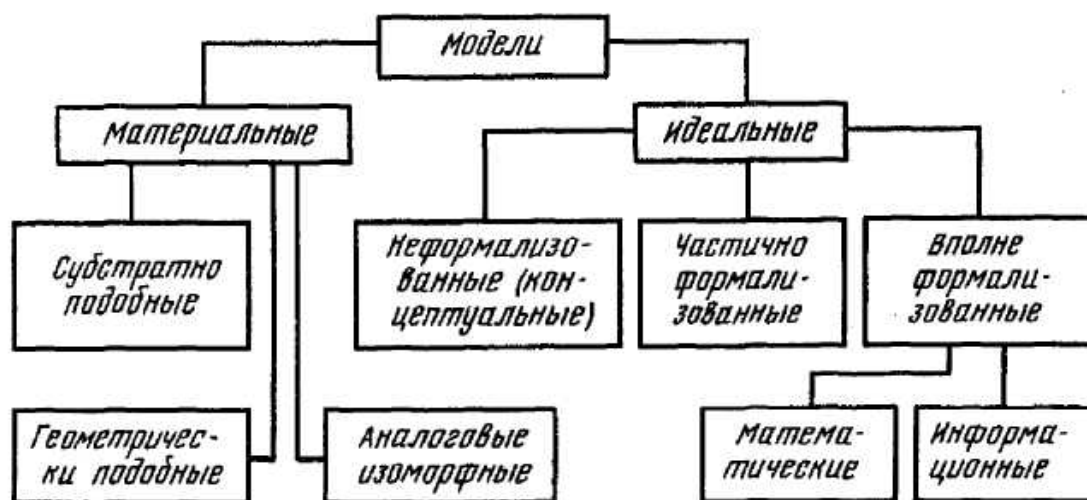


Рис 1. Классификация моделей по форме представления информации

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 сис-

темы. 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.

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 (Фрид А.С., 1985) (рис. 2). На верхнем иерархическом уровне модели плодородия почв (МПП) подразделяются на модели управления и информационные. Последние, в свою очередь, делятся на модели состояния плодородия (статические) и модели прогноза (динамические).

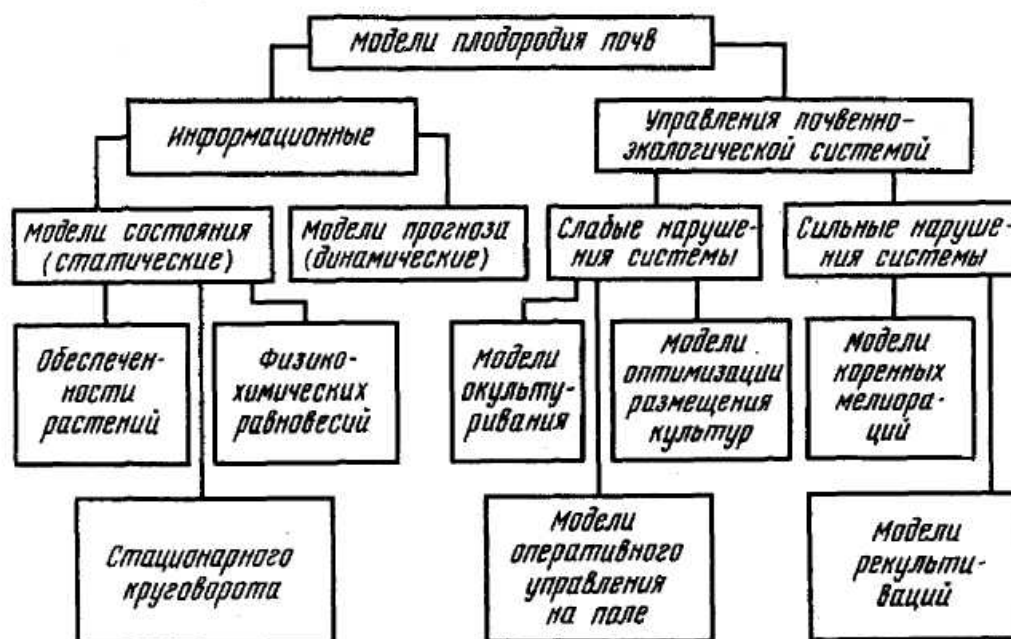


Рис 2. Содержательная классификация моделей плодородия почв

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 в 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.

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 систе-

ме 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.

1.3. 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 по-

требности 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 содержания 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 раз-

рушения 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 почвен-

ная 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 материалом, 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.

1.4. Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв.

Почвенно-экологическая оценка производится на основании свойств почв, климатических показателей и некоторых других особенностей территорий. Почвенно-экологическая оценка выражается в виде почвенно-экологического индекса (ПЭи). При расчете ПЭи учитываются: плотность поч-

вы, полезный объем почвы, сумма активных температур, коэффициент увлажнения, коэффициент континентальности, итоговый агрохимический показатель. Дополнительно могут также учитываться следующие свойства почв: каменистость, смывость, гидроморфность, солонцеватость, засоленность и дефлированность.

Почвенно-экологические показатели рассчитываются для пашни обычной, орошаемой и осушенной, для торфяных и болотных почв, для почв овражно-балочных комплексов, горных почв, почв многолетних насаждений, сенокосов и пастбищ. При этом в каждом вышеупомянутом случае в расчетах могут быть свои особенности.

Бонитировка почв – сравнительная оценка почв по их производительности. Бонитировка почв строится на сопоставлении объективных признаков, свойств и режимов почв с многолетней средней урожайностью сельскохозяйственных культур при определенном уровне интенсивности земледелия.

Современные методы бонитировки почв исходят из принципов, сформулированных В.В. Докучаевым, и строятся на одновременном и сопряженном использовании количественных показателей свойств почв и агроклиматических условий, которые находятся в тесной коррелятивной связи с урожайностью, и многолетних данных по средней урожайности сельскохозяйственных культур, полученных при сходном уровне интенсивности земледелия.

Свойствами почв, которые чаще всего коррелируют со среднемноголетней урожайностью, являются гумусность, кислотность, гранулометрический состав, емкость поглощения, плотность, мощность гумусового слоя. Из агроклиматических показателей наиболее тесно связаны с урожайностью сумма активных температур за вегетационный период, коэффициент увлажнения по Высоцкому-Иванову, гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову и различные показатели континентальности климата. Одновременное использование данных по свойствам почв и многолетней урожайности наблюдается только в пределах определенных эколого-генетических рядов почв и не может быть установлено сразу для всех почв региона.

В таежно-лесной зоне урожайность культур тесно коррелирует с содержанием гумуса в пахотном слое, содержанием фракций физической глины и ила, рН солевой вытяжки, гидролитической кислотностью, суммой поглощенных оснований, степенью насыщенности основаниями. В зонах недостаточного увлажнения (лесостепной, степной, сухостепной, полупустынной) урожайность сельскохозяйственных культур связана с содержанием гумуса в пахотном слое, запасами гумуса во всей толще гумусового горизонта, мощностью гумусового профиля, содержанием фракций физической глины и ила, емкостью поглощения.

В России чаще всего используются бонитировочные шкалы по Н.Л. Благовидову, Ф.А. Гаврилюку, А.С. Фатьянову, И.И. Карманову.

Бонитировка почв по методу Благовидова рекомендуется для областей Северо-Западного Федерального округа России и проводится с учетом мощности гумусового горизонта (или пахотного слоя), содержания в нем гумуса, характера подпахотного горизонта и особенностей почвообразующих пород, гранулометрического состава, рН солевой вытяжки и наличия в почве оглеения. Почва оценивается по стобалльной системе. Лучшей почве присваивается 100 баллов, менее производительные почвы оцениваются ниже.

Метод Фатьянова применяется для бонитировки почв центральных районов Нечерноземной зоны России. В основу метода положены показатели пахотного горизонта почв, коррелирующие с многолетней урожайностью зерновых культур: содержание гумуса, емкость поглощения катионов, рН солевой вытяжки, содержание физической глины. Оценка почв производится по замкнутой стобалльной шкале, где эталоном служат черноземы выщелоченные и оподзоленные со следующими показателями пахотного горизонта: содержание гумуса $\geq 8\%$, емкость поглощения катионов ≥ 40 м.-экв. на 100 г почвы, $\text{pH} \geq 6$, содержание физической глины $\geq 50\%$. Расчеты бонитировочных баллов проводятся по каждому оценочному показателю, суммируют баллы по всем показателям, рассчитывают средний балл, разделив сумму баллов на число показателей.

Дополнительно могут использоваться поправочные коэффициенты на эродированность, заболоченность, каменистость почв.

Метод Гаврилюка основан на тесной корреляционной связи между урожаем зерновых культур и суммой двух показателей: мощности гумусовых горизонтов и запаса гумуса (т/га). Метод применяется для определения балла бонитета черноземов и каштановых почв Ростовской области. Оценочная шкала разомкнутая. За эталон (100 баллов) принят чернозем обыкновенный с мощностью гумусового горизонта 75 см и запасами гумуса 425 т/га.

Имеется и универсальная методика бонитировки основных зональных почв России, разработанная И.И. Кармановым. Она основана на эмпирических формулах, по которым производится бонитировка почв для основных сельскохозяйственных культур. В формуле учитывают суммарный показатель свойств почв и показатели климатических условий: коэффициент увлажнения, сумму активных температур и континентальность климата. Кармановым предложены эмпирические формулы бонитировки зональных почв в отношении зерновых культур и подсолнечника, но они применимы только для суглинистых почв. Для других почв вводят поправочные коэффициенты для разного гранулометрического состава, степени эродированности, солонцеватости и т.д.

Методика и технология общей почвенно-экологической оценки и бонитировки почв в отношении различных сельскохозяйственных культур разработана И. И. Кармановым на основе принципиально новых подходов и учитывает опыт бонитировки почв как в нашей стране, так и за рубежом. Методика позволяет определять почвенно-экологические показатели и баллы бонитетов почв пашни, многолетних насаждений, сенокосов и пастбищ не только для хозяйств, но и на любых уровнях - от конкретного участка, поля до области, республики, зоны и т. д. В отличие от региональных бонитировок она дает сопоставимые результаты на единой основе для всей территории страны.

Оценка уровня плодородия почв, полученная на основе этой методики, позволяет решать многие задачи, в том числе:

а) в области оросительной мелиорации – определять изменение баллов бонитетов почв при орошении и рассчитывать возможные прибавки урожайности, обосновывать целесообразные ареалы орошения для тех или иных сельскохозяйственных культур;

б) в области химизации земледелия – выявлять ареалы для первоочередного внедрения интенсивных технологий, более рационально размещать удобрения с учетом уровня плодородия почв;

в) в области экономики – более полно и правильно определять ресурсный потенциал сельскохозяйственного производства, служить основой для денежной оценки почв, рентных платежей и перераспределения доходов для выравнивания их в условиях различного почвенно-климатического потенциала.

При обновлении данных почвенно-агрохимического обследования, изменении площадей орошаемых или осушенных почв и т. д. методика позволяет оперативно уточнять показатели оценки.

Основываясь на природных показателях, методика исключает возможность резких несоответствий между действительным и расчетным уровнями плодородия почв.

Оценка плодородия почв по данной методике технологически проста, основывается на существующих материалах почвенно-агрохимических обследований и требует в несколько раз меньше затрат времени и средств по сравнению с бонитировкой почв на основе сбора и обработки обширных материалов по многочисленным экономическим показателям, свойствам почв и т. д. Для получения правильных результатов при работе по данной методике требуется только внимательное ознакомление со всем технологическим процессом их получения.

В то же время методика не исключает возможности ее дальнейшего совершенствования на местах за счет расширения набора культур, в отношении которых проводится бонитировка, более полного учета некоторых местных особенностей почв. При этом возможные дополнения должны органически

"вписываться" в методику, не нарушая ее основных принципов и соотношений получаемых баллов бонитетов.

Технология выполнения работ по данной методике включает три раздела:

- 1) подготовку почвенно-агрохимических и агроклиматических данных по хозяйствам;
- 2) почвенно-экологическую оценку;
- 3) бонитировку почв в отношении различных сельскохозяйственных культур.

По результатам почвенно-экологической оценки и бонитировки почв устанавливается балл бонитета для пашни, сенокосов и пастбищ. Для пашни расчет баллов проводится применительно к отдельным сельскохозяйственным культурам.

Раздел 2. Повышение плодородия антропогенно загрязненных почв сельскохозяйственного назначения

2.1. Источники загрязнения почв тяжелыми металлами и другими токсикантами.

В настоящее время в результате хозяйственной деятельности человека в биосферу поступает огромное количество различных загрязнителей, в том числе и тяжелых металлов. Почвенный покров является одной из важнейших частей биосферы и во многих случаях он играет буферную роль, предотвращая или локализуя загрязнение других частей биосферы. Поступление тяжелых металлов в биосферу ведет к накоплению их в почве в количествах, многократно превышающих фоновый уровень, что снижает продуктивность почв и негативно сказывается на животном и растительном мире и, в конечном итоге, на человеке. Загрязнение почв наносит также и экономический ущерб, т.к. сельскохозяйственная продукция, полученная с загрязненных территорий, часто загрязнена ТМ и запрещена к реализации. Это, в свою очередь, приводит к невозможности или нецелесообразности сельскохозяйственного использования таких земель.

По происхождению различают химические элементы естественного и антропогенного происхождения. Естественное происхождение имеют химические вещества, образовавшиеся при выветривании горных пород, вовлеченные в воздушный поток и поступившие на земную поверхность в виде аэрозольных выпадений. Происхождение загрязнителей антропогенной природы связано с жизнью больших городов (промышленность, транспорт, коммунально-бытовые отходы) и с сельскохозяйственным производством (удобрения, пестициды, инсектофунгициды и др.). При поступлении в атмосферу ряда химических элементов, в том числе кадмия и свинца, явное преобладание имеют антропогенные источники. В общем загрязнении доля тяжелых металлов из источников антропогенного происхождения составляет 70-95%.

По характеру площадного распространения загрязняющих веществ источники загрязнения делятся на точечные (ТЭЦ, добыча полезных ископаемых), площадные (земледелие, крупные промышленные зоны) и линейные (транспорт). Режим поступления загрязнителей в окружающую среду может быть постоянным, регулярным или циклическим, спонтанным (самопроизвольным).

Основными источниками тяжелых металлов, поступающими в почву, являются промышленные и энергетические предприятия, авиационный, автомобильный и железнодорожный транспорт, минеральные удобрения и вещества, используемые в качестве удобрений и мелиорантов, пестициды, оросительные воды, загрязненные промышленными стоками и т.д.

Значительным каналом поступления в почву загрязняющих веществ в глобальном, региональном и локальном масштабах является атмосфера. Наибольшими источниками атмосферного загрязнения, связанного с антропогенной деятельностью, являются электростанции, на долю которых приходится до 27% загрязнений, предприятия черной металлургии до 24,3%, предприятия по добыче и переработке нефти – 15,5%, транспорт – 13,1%, предприятия черной металлургии – 10,5%, а также предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов – до 8,1%.

При сжигании топлива (угля, нефти, сланцев и т.д.) вместе с дымом в атмосферу поступают содержащиеся в нем элементы. Например, каменный уголь содержит церий, хром, свинец, ртуть, серебро, олово, титан, радий, уран и другие металлы. В нефти могут содержаться значительные количества ртути. При сжигании угля и сланцев металлы остаются в основном в золе (кроме легко возгоняемой ртути). Часть взвешенных частиц и испарившихся металлов выносятся горячим воздухом через дымовые трубы в атмосферу и оседает на поверхности почвы на разном расстоянии от источника (в зависимости от величины частиц). В виде техногенной пыли в почву поступает основное количество тяжелых металлов (>95%) от предприятий черной и цветной металлургии. Количество ежедневных выбросов крупных плавильных комбинатов может со-

ставлять несколько тонн металла. Поступление в окружающую среду больших количеств тяжелых металлов не может пройти бесследно, и в окрестностях крупных предприятий-загрязнителей наблюдается очень высокое содержание тяжелых металлов (особенно Zn, Pb и Fe) в почве – до нескольких десятков тысяч мг/кг почвы.

Площади, которые подвергаются воздействию газопылевых выбросов, содержащих тяжелые металлы, составляют сотни тысяч га земли.

Известно, что вокруг промышленных предприятий образуются геохимические аномалии с повышенным содержанием тяжелых металлов, радиус которых может достигать 10-50 км, а влияние крупных промышленных центров прослеживается на расстоянии до 100 км. Причем 10-30% от общего выброса в атмосферу распространяется на расстоянии более 10 км от промышленных предприятий.

Загрязнение атмосферного воздуха и почвы происходит также за счет транспорта и распространяется на 100-300 м вдоль автотрасс и в радиусе нескольких километров вокруг аэропортов. При этом на расстоянии 30-50 м от автотрассы масса поступающих за месяц легкорастворимых соединений, содержащих Mg, Zn, Sr, Mn, Cu, Pb, Cd, Co, Ni, Sn, варьируется в пределах от 4 до 40 г/м². Загрязнение окружающей среды транспортом в значительной мере зависит от использования добавок к моторному топливу, содержащих токсичные вещества. Наиболее распространенной добавкой является тетраэтил свинца.

Роль сельского хозяйства как источника ТМ. В локальном масштабе существенный канал поступления тяжелых металлов – их внесение в почву вместе с веществами, используемыми в сельском хозяйстве в качестве удобрений: с осадками сточных вод, компостами из городского мусора, а также с пестицидами, фунгицидами и мелиорантами, с загрязненными оросительными водами, с минеральными удобрениями.

Компосты из городского мусора, бытовые и промышленные осадки сточных вод (ОСВ), сточные воды (СВ) после предварительного обеззараживания используются в сельском хозяйстве в качестве органических удобрений, бога-

тых азотом, фосфором и другими элементами минерального питания растений. Однако использование таких удобрений представляет большую опасность с точки зрения загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Например, ОСВ крупных промышленных городов нередко содержат очень высокие количества тяжелых металлов, поэтому их использование становится небезопасным. Сильно загрязненными (по Кампе) ОСВ считают, если содержание в них превышает (мг/кг сухого вещества): ртути – 5, кадмия – 10, хрома и меди – 250, свинца – 500, цинка – 1000.

В минеральных удобрениях тяжелые металлы являются естественными примесями, содержащимися в агрорудах, поэтому их количество зависит от исходного сырья и технологии его переработки. Чаще всего повышенное содержание примесей тяжелых металлов наблюдается в фосфорных удобрениях, а также в удобрениях, полученных с помощью экстракционной фосфорной кислоты (аммофосы, аммофоски, нитрофосы, нитрофоски, двойные суперфосфаты). Например, американский простой суперфосфат может содержать: кадмий – 50-170 мг/кг, хром – 66-243 мг/кг, кобальт – до 90 мг/кг, медь – 4-79 мг/кг, свинец – 7-92 мг/кг, никель – 7-32 мг/кг, вольфрам – 70-180 мг/кг, цинк – 50-1430 мг/кг. Содержание кадмия в фосфатах США (Флорида) составляет 13 мг/кг, в фосфатах из Израиля и стран Северной Африки – 25-50 мг/кг, а из Сенегала – более 70 мг/кг. Фосфорные удобрения из такого сырья содержат 10-170 мг кадмия на 1 кг P_2O_5 , и в почву с ними может поступить от 0,3 до 50 г/га кадмия в год, что ведет к загрязнению и представляет серьезную опасность. Фосфорные удобрения могут стать источником загрязнения почв такими радиоактивными элементами, как уран, торий и радий. Известно, что в некоторых штатах США концентрация ^{238}U в почвах за 80 лет применения фосфорных удобрений увеличилась в 2 раза. Отечественные фосфорные удобрения, полученные из фосфорита Каратау и апатита, отличаются невысоким содержанием урана и тория. Содержание кадмия в хибинских апатитах составляет 0,4-0,6 мг/кг. Такие фосфорные удобрения не представляют опасности. Количество цинка и свинца, по-

ступающих с минеральными удобрениями, в среднем невелико и не превышает выноса этих металлов растениями.

Отдельные пестициды содержат в своем составе тяжелые металлы, такие как ртуть, цинк, медь, железо. Однако мнения о роли пестицидов в загрязнении почв различны. По одним данным, в пахотный слой почвы попадает сравнительно небольшое количество тяжелых металлов вместе с пестицидами и фунгицидами, расход которых при проведении защитных мероприятий невелик. Поэтому они не представляют серьезной опасности как источник загрязнения почв, особенно такими металлами, как цинк и железо. В то же время имеются данные, которые свидетельствуют о загрязнении почв в результате применения пестицидов. Так, например, постоянное применение медьсодержащих препаратов для защиты виноградников и в теплицах приводит к накоплению меди в почве в токсичных для растений концентрациях, что способствует ухудшению роста растений. Широкое применение ртутьсодержащих препаратов на плантациях плодовых культур привело к существенному загрязнению почв.

Тяжелые металлы могут поступать в почву и с отходами промышленности. Фосфогипс может содержать до 10% оксидов марганца, стронция и редкоземельных элементов, а стронция может быть более 2%. При внесении в почву в качестве источника фосфора томас-шлаков происходит загрязнение почвы хромом, т.к. содержание его в шлаке доходит до 5000 мг/кг. Кроме того, шлак содержит значительное количество свинца и железа.

Таким образом, источники поступления тяжелых металлов в почву могут быть различны, поэтому при оценке пригодности земель для сельскохозяйственного производства нужно учитывать все обстоятельства, влияющие на поступление и накопление в почве тяжелых металлов. Для этого необходимо проводить фоновый мониторинг, а также локальный мониторинг реперных участков обрабатываемых земель.

Источниками радионуклидов в почве являются испытания ядерного оружия, исследовательские и промышленные ядерные реакторы, горнодобывающая промышленность (добыча урана и тория), предприятия по переработке и

обогащению урана, исследовательские лаборатории, промышленные предприятия и медицинские учреждения, использующие радиоактивные изотопы, места захоронения радиоактивных отходов. Особое место в загрязнении почв радиоактивными изотопами занимают аварии на АЭС и предприятиях ядерного топливного цикла (например, Кыштымская авария в 1957 году и катастрофа на Чернобыльской АЭС 1986 года), в результате которых огромные территории подвергаются радиоактивному заражению.

2.2. Процессы взаимодействия загрязнителей с почвенными компонентами.

Тяжелые металлы, попадающие в почву или находящиеся в ней, подвергаются различным превращениям. Основными процессами, в которые вовлечены ТМ, являются процессы сорбции, миграции, трансформации, поглощения растениями, выноса в грунтовые воды и включения в биогеохимические круговороты. На взаимодействие тяжелых металлов с почвой оказывают влияние различные условия.

Выбросы, поступающие в почву из атмосферы вокруг предприятий черной и цветной металлургии, связываются в верхних слоях почвы. Они достаточно однородны по химическому составу и в основном состоят из оксидов тяжелых металлов. Оксиды тяжелых металлов, взаимодействуя с почвенным раствором, растворяются. Затем катионы тяжелых металлов, взаимодействуя с почвенным раствором, вступают в реакцию с такими ионами почвенного раствора, как H^+ , OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , NO_3^- , S^{2-} , Cl^- и другие, в результате чего образуются соединения разной растворимости. Считается, что уровень концентрации тяжелых металлов в почвенных растворах может ограничиваться растворимостью труднорастворимых соединений. В таких случаях обычно используется показатель произведения растворимости. Однако в реальных условиях при расчете произведений растворимости солей тяжелых металлов нужно учитывать участие ионов этих солей в побочных реакциях. Катионы тяжелых металлов образуют с анионами NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} легкорастворимые соединения, которых относительно немного.

Тяжелые металлы в одной и той же почве содержатся в различных формах и могут нести положительный заряд (катионы), или отрицательный, если являются анионами кислот (хромовой, молибденовой и др.); амфотерные элементы в зависимости от pH почвы могут быть заряжены и положительно, и отрицательно. В почве имеются и нейтральные формы металлов. Все почвы обладают смешанным типом обмена ионов, но он обладает заметно выраженной специализацией – катионной или анионной. Для почв Нечерноземной зоны характерен катионный тип обмена.

Важным условием, влияющим на поведение тяжелых металлов в почве, является pH. При нейтральной и слабощелочной реакции среды образуются труднорастворимые соединения: гидроксиды, сульфиды, фосфаты, карбонаты и оксалаты тяжелых металлов. При возрастании кислотности в почве идет обратный процесс – повышается подвижность многих тяжелых металлов.

Однако действие кислотности почв на подвижность тяжелых металлов неоднозначно. Хотя при возрастании pH среды подвижность многих тяжелых металлов снижается (Fe, Mn, Zn, Co и другие), имеется ряд металлов, подвижность которых при нейтрализации почвы возрастает. К ним относятся молибден и хром, которые способны в слабокислой и щелочной среде образовывать растворимые соли. Ртуть и кадмий способны сохранять подвижность в щелочной среде за счет образования комплексных соединений с органическим веществом почв.

С твердой фазой почвы тяжелые металлы взаимодействуют при специфической и неспецифической адсорбции. Неспецифическая адсорбция тяжелых металлов имеет место при катионном обмене, материальный носитель которого – почвенный поглощающий комплекс (ППК). Величина и сила специфической адсорбции зависит от индивидуальных особенностей иона.

Важную роль в сорбции тяжелых металлов играют глинистые минералы. Они могут удерживать загрязнители в результате обменного и необменного поглощения. Почвы с тяжелым гранулометрическим составом имеют значительно большую поглонительную способность, чем легкие почвы.

Большое значение имеет и минералогический состав, т.к. поглонительная способность у различных минералов различна. Поэтому для почв одинакового гранулометрического состава емкость катионного обмена может сильно различаться. Особую роль в адсорбции тяжелых металлов играет илистая фракция почвы, представленная в основном глинистыми минералами. Однако не все тяжелые металлы могут поглощаться глинистыми минералами. Например, свинец и кадмий имеют большие ионы, поэтому поглощение их глинами неэффективно.

Наряду с органическим веществом и глинистыми минералами оксиды и гидроксиды Al, Fe и Mn играют большую роль в адсорбции ТМ в почвах. Способность связываться оксидами и гидроксидами Al, Fe и Mn установлена для Co, Ni, Zn, Cu, Cd, Mo, Sr, Pb, Sn. По способности адсорбироваться гидроксидами Fe и Al тяжелые металлы образуют ряд селективности: $Pb > Zn > Cd$. Поглощение ТМ гидроксидами зависит от pH среды. В кислых почвах Fe, Al, Mn находятся в подвижном состоянии, а при нейтрализации они превращаются в нерастворимые гидроксиды, которые образуют коллоиды, адсорбирующие другие ТМ из почвенных растворов.

На подвижность ТМ в почве оказывает влияние валентность металлов, которая зависит от окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) почвы. При смене окислительных условий восстановительными происходит выпадение в осадок Cu, Cr, V. В то же время подвижность Fe и Mn увеличивается, т.к. двухвалентные ионы этих металлов более подвижны, чем трехвалентные. Цинк, медь, никель, кобальт и уран подвижны в условиях окисления и очень слабо мигрируют в восстановительной среде.

Взаимодействие ТМ с органическим веществом почв. Органическое вещество почв является одним из важнейших факторов, определяющих поведение тяжелых металлов в почве и их доступность для растений. Большая часть тяжелых металлов, поступивших в почву, закрепляется в гумусовых горизонтах. При этом они связываются органическим веществом с образованием как лабильных, так и нерастворимых органоминеральных координационных соеди-

нений. В органическом веществе может содержаться значительное количество ТМ от общего их содержания в почве.

Органическое вещество имеет высокую катионообменную способность, связанную с наличием в его структуре различных функциональных групп. Гумусовые кислоты можно рассматривать как моно-, би- или полидентатные лиганды с большим набором функциональных групп, характеризующихся различной способностью к связыванию ионов металлов.

Органические соединения в почве способны образовывать с ТМ различные по растворимости комплексы, поэтому способность почв связывать металлы или содержать их в растворенном виде сильно зависит от характера и количества органического вещества. Взаимодействие между гуминовыми веществами и металлами может быть описано с помощью явлений ионного обмена, сорбции на поверхности, коагуляции и пептизации. Основными продуктами взаимодействия являются простые соли – гуматы и фульваты тяжелых металлов, а также комплексные и внутрикомплексные (хелатные) металлосодержащие соединения.

Образование соединений ионов металлов с ГК происходит с участием различных типов связей, но основными можно считать ионную и координационную связи. Ионная связь возникает преимущественно между функциональными группами ГК и катионами щелочных и щелочноземельных металлов. Координационная (донорно-акцепторная) связь играет важную роль при связывании гуминовыми кислотами тяжелых металлов.

Донорно-акцепторная связь играет большую роль при образовании внутрисферных комплексов. В этом случае гидратная оболочка иона металла частично или полностью разрушается, и функциональные группы лиганда (ГК) входят в координационные позиции металла, замещая молекулы воды. Реакция протекает по типу лигандного обмена.

Существенная роль в образовании органо-минеральных комплексов может принадлежать также электростатическим, водородным связям или межмолекулярным взаимодействиям (силам Ван-дер-Ваальса). Электростатические и

водородные связи участвуют в образовании внешнесферных комплексов, когда ион металла при взаимодействии с функциональной группой ГК сохраняет свою гидратную оболочку.

В почве возможно образование 3 типов органо-минеральных производных гумусовых кислот – гетерополярных солей, комплексных солей и адсорбционных комплексов.

В результате анализа ИК-спектров соединений гуминовых кислот (ГК) с ионами Fe^{3+} , Al^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ca^{2+} получены данные о том, что Cu^{2+} - и Zn^{2+} -ионы могут реагировать как с карбоксильными, так и фенолгидроксильными группами. Кроме того, во взаимодействии с ионами металлов могут принимать участие атомы кислорода карбонильных групп. Анализ ИК-спектров продуктов взаимодействия фульвокислот (ФК) с ионами металлов позволил предположить, что эта реакция может идти двумя путями: 1) катионы взаимодействуют как с карбоксильными так и с фенолгидроксильными группами и 2) взаимодействие идет только с карбоксильными группами. Реакции ионов с менее кислыми карбоксильными группами являются второстепенными, а спиртовые гидроксилы в реакции комплексообразования участия не принимают.

Комплексы, в которых фрагмент ФК или ГК играет роль бидентатного лиганда, относятся к хелатным соединениям.

Важную роль во взаимодействии гумусовых кислот и ионов металлов играет рН. Использование метода потенциометрического титрования показало, что в связывании тяжелых металлов участвуют карбоксильные и фенолгидроксильные группы гуминовых кислот и тип образующихся комплексов зависит от величины рН исследуемого раствора. Характер связей в комплексах ионов ТМ и гумусовых кислот также является функцией величины рН раствора. Так, при рН 7 в связывании ионов металла участвуют только карбоксильные группы и возникающая связь носит ионный характер, а при рН 11,5 возникают более сложные структуры с участием карбоксильных и фенольных групп со связями ионного и ковалентного типов.

Комплексы, в которых в координационной сфере центрального иона присутствуют лиганды разного типа, относятся к типу смешанных. В нейтральной и слабокислой среде смешанные комплексы преобладают над простыми вследствие их большей устойчивости. Смешанные комплексы играют значительную роль в транспорте металлов в почве, а связывание металлов в такие комплексы конкурирует с реакциями осаждения ионов металлов в виде гидроксидов, фосфатов, сульфатов и карбонатов.

Тип образующегося соединения зависит также от концентрации ионов металла в растворе: при малых концентрациях ионы Cu^{2+} образуют с гумусовыми кислотами хелаты, а при высоких – соли. Концентрация ионов металла оказывает влияние и на характер связей в соединениях металл-ГК.

Методом гель-фильтрации доказана возможность образования высокомолекулярных комплексов с участием в реакции двух молекул ГК. Комплексы металл-ГК состава 1:2 образуются одновременно с комплексами 1:1. При большом насыщении ионом металла возможно образование внешнесферных комплексов. Образование цепочечных структур влияет на растворимость комплексов металл-ГК – они растворимы при низких отношениях металл-ГК, но растворимость уменьшается по мере роста цепочки соединенных мостиками молекул ГК.

Образование внутрисферных комплексов Fe^{3+} и Mn^{2+} с молекулами фульвокислот было установлено также методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). С помощью метода электронно-парамагнитного резонанса (ЭПР) было показано, что в координационную сферу Cu^{2+} -иона помимо карбоксильных групп могут входить гидроксильные группы и атомы алифатического азота молекул ГК и ФК. Анализируя полученные результаты, можно предположить существование внутрисферных комплексов с гумусовыми кислотами для ионов Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} и Cu^{2+} , в то время как ионы Ni^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} и Mn^{2+} образуют внешнесферные комплексы.

Большое значение имеет устойчивость образующихся комплексов. Так как основную роль в связывании ионов металла играют О- и N-содержащие

функциональные группы гумусовых веществ, то можно сопоставить ряды устойчивости, полученные для комплексов Me(II)-ГК(ФК) , с известными рядами устойчивости комплексов Me^{2+} -ионов d-элементов с O- и N-содержащими монодентатными лигандами: 1) $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Fe} > \text{Mn}$ и $\text{Zn} < \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Fe} > \text{Mn}$; 2) для комплексов с ковалентной связью - $\text{Hg} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Mg}$ и для комплексов с промежуточным типом связи - $\text{Hg} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Zn}, \text{Co}, \text{Cd}, \text{Pb} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Mg} > \text{Ca}$.

Рассматривая ряды устойчивости комплексов переходных металлов с гумусовыми кислотами, можно отметить, что в них в большинстве случаев наблюдается последовательность, соответствующая последовательности элементов в ряде Ирвинга-Уильямса (Irving & Williams): $\text{Zn} < \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Fe} > \text{Mn}$. С рядом Ирвинга-Уильямса тесно коррелирует последовательность связывания ионов металлов ГК: $\text{Cu}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$. Обнаружено также, что способность гуминовых кислот к связыванию металлов возрастает с увеличением их молекулярной массы.

Прочность связи ТМ с гумусовыми кислотами неодинакова: гуматы и фульваты ТМ освобождают катион уже в результате обменной реакции, для разрыва же хелатной связи требуется приложение большей энергии. Устойчивость комплексных соединений металлов с гумусовыми кислотами зависит от pH раствора. Комплексы с участием хелатообразующих лигандов более устойчивы, чем комплексы аналогичных монодентатных лигандов.

Органические вещества сильно различаются по способности к взаимодействию с ТМ. Медь, цинк, свинец и марганец образуют комплексы с ГК во много раз лучше, чем с ФК. Обе кислоты часто обнаруживают большее сродство к Cu и Pb, чем к Fe и Mn.

Металлы, связанные в комплексы с фульвокислотой, более доступны для корней растений, чем комплексы ТМ с ГК, которые могут быть как воднорастворимые, так и нерастворимые. В торфяниках Cu, Zn, Mo и Mn могут очень прочно удерживаться нерастворимыми ГК. По данным А.И. Карпухина и других исследователей, метало-фульватные комплексы являются одним из компо-

нентов водорастворимых органических веществ (ВОВ), играющих важную роль в миграции ТМ и способных активно включаться в трофические цепи экосистем. Тяжелые металлы, входящие в состав металло-фульватных комплексов, лучше поглощаются растениями, чем ионы ТМ непосредственно из почвенного раствора.

2.3. Поступление тяжелых металлов и радионуклидов в растения.

Распределение и накопление токсикантов в органах растений.

Роль растений важна как в геохимическом круговороте элементов, так и в поступлении загрязнителей в пищевые цепи, т.к. имеются данные, свидетельствующие, что накопление ТМ в организме человека осуществляется в основном за счет пищи и меньше – за счет воды и воздуха, а среди пищевых продуктов наиболее загрязнены продукты растительного происхождения.

Наибольшую опасность загрязнения представляют те тяжелые металлы, которые при нормальных условиях необходимы растениям как микроэлементы. К ним в первую очередь относятся Zn, Cu, Mn, Co и другие. По сведениям многих авторов, вследствие загрязнения ТМ происходит замедление роста и снижение продуктивности многих сельскохозяйственных культур. Следует отметить, что для растений опасны не все тяжелые металлы, которые опасны для человека и животных, часто накопление ТМ происходит в растении без ущерба для его роста и развития. Например, Sr для растений малотоксичен и может накапливаться в них в больших количествах, но в то же время у человека и животных стронций вызывает искривление и ломкость костей.

Поглощение ТМ растениями может происходить как через корни (пассивное и активное–метаболическое), так и через наземные части растений. Пассивное поглощение происходит путем диффузии ионов из внешнего раствора в эндодерму корней, а при активном необходимы затраты энергии метаболических процессов, и оно направлено против химических градиентов. Покровная ткань корней обладает значительной адсорбирующей способностью, и поступление ионов металлов из почвы в надземную часть может тормозиться за счет этого барьера. Основная часть ТМ находится в эпидермисе и эндодерме корней,

а поступающий в ксилему надземных органов поток элементов значительно очищается от загрязнителей. Высокое содержание ТМ в почве слабо отражается на их концентрации в плодах и семенах. ТМ распределяются по органам растений в следующем порядке: корни>стебли>листья>плоды (семена). Корневая система растений может активно переводить микроэлементы, связанные с различными компонентами почвы, в подвижное состояние.

Фолиарное (через листья) поглощение ТМ иногда оказывает значительное воздействие на загрязнение растений. Это имеет практическое значение при загрязнении атмосферы выбросами ТМ и при некорневой подкормке микроэлементами.

Тяжелые металлы, накапливаясь в растениях, могут вызывать отрицательные эффекты, но нередко накопление ТМ в растениях происходит без проявления явно видимых повреждений. Обычно симптомы фитотоксичности относительно неспецифичны, в основном это хлороз и некроз листьев, замедление роста и развития растений, уродливость и недоразвитость корневой системы. ТМ различаются по фитотоксичности. Например, Sr, Mo, Pb имеют невысокую фитотоксичность, а токсичность Cd и Hg высока. Очень высокой фитотоксичностью отличается таллий: концентрация более 0,04 мг/кг почвы уже токсична для растений. По фитотоксичности ТМ можно расположить в убывающий ряд: Cd>Ni>Cu>Zn>Cr=Pb.

Растения различаются по чувствительности к ТМ: существуют культуры, чувствительные к избытку металла (их можно использовать в виде теста), имеются также растения-концентраторы, могущие накапливать большие количества ТМ без внешних признаков. Так, к избытку меди наиболее чувствительны кукуруза, клевер, люцерна, фасоль, шпинат, цитрусовые, гладиолусы; избытку цинка – злаковые (кукуруза, овес), шпинат; к избытку молибдена – крестоцветные (цветная капуста), пасленовые (томат), бобовые; к избытку марганца – сахарная свекла, капуста, картофель, томаты и т.д. Виды высших растений, обнаруживающих устойчивость к ТМ, обычно принадлежат к следующим семействам: Гвоздичные, Крестоцветные, Осоковые, Злаковые, Бобовые и Маревые.

Растения–концентраторы, принадлежащие к семейству Гвоздичные, способны накапливать Cu и Zn. Способностью к накоплению Mo обладают растения семейств Бобовые, Зверобойные, Норичниковые и Сложноцветные. Нередко концентрация металлов в растениях достигает очень высоких величин. Водяной орех (семейство Рогозниковые) накапливает Mn до 108000 мг/кг сухого вещества, накопление Zn в растениях семейства Крестоцветные доходит до 13630 мг/кг, аккумуляция Cu у Гвоздичных и Губоцветных превышает 1500 мг/кг и т.д. Салат и шпинат могут содержать 100 мг/кг Cd при отсутствии видимых проявлений отравления. Загрязненные растения могут накапливать до 400 мг/кг кадмия и более.

При прочих равных условиях поступление Cd и других ТМ в растения может зависеть от вида растений, а у одного и того же вида – от сорта. Например, американские исследователи выявили гибриды кукурузы, очень слабо поглощающие кадмий. Концентрация кадмия в зерне сильнопоглощающих гибридов была в 13-18 раз больше, чем в слабопоглощающих при одинаковом загрязнении почв. Значительные различия в содержании кадмия были отмечены также в стеблях и листьях этих гибридов.

В растениях имеются механизмы защиты от избытка ТМ, поступающих из почвы, причем развитие толерантности к металлам происходит довольно быстро и имеет генетическую основу.

Основными условиями, влияющими на поступление и накопление в растениях ТМ, являются: элемент и его концентрация в почвенном растворе, pH почвы, вид растения.

Поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры, масштабы накопления и характер распределения этих радионуклидов зависит от биологических особенностей растений (семейство, род, вид, сорт) и их физиологического состояния. По содержанию радионуклидов в отдельных органах растения можно расположить в следующем порядке: в надземной части – бобовые > пасленовые > сложноцветные > злаковые; в корневой системе - бобовые > злаковые > сложноцветные > пасленовые. По накоплению ^{90}Sr сельскохозяйствен-

ные растения можно расположить в следующий ряд: горох > фасоль, люцерна, клевер > столовая свекла, картофель > зерновые, злаковые травы > лен.

С увеличением урожая вынос радионуклидов из почвы повышается, однако концентрация их в биомассе снижается.

Такие радионуклиды, как ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{106}Ru и ^{144}Ce , концентрируются в основном в корневой системе (около 90%). В то же время накопление ^{90}Sr в надземных органах достигает около 90%, а ^{137}Cs – около 60% от их общего содержания в растении. В надземных органах большая часть ассимилированных радионуклидов накапливается в вегетативных органах (около 95%) и значительно меньшая – в генеративных органах.

В хозяйственно ценной части урожая (зерно, корнеплоды, клубнеплоды) наибольшая концентрация ^{90}Sr (в расчете на единицу сухой массы) наблюдается в корнеплодах (редис, столовая свекла), средняя концентрация – в вике, картофеле, горохе, наименьшая – в пшенице и овсе. В самой хозяйственно ценной части урожая радионуклиды распределяются также неравномерно, концентрируясь преимущественно в оболочке зерна или пробковой ткани картофеля.

2.4. Меры борьбы с загрязнением почв.

В настоящее время загрязнение почв тяжелыми металлами приобретает все большие размеры и получение экологически безопасной продукции на загрязненных территориях становится все более актуальным. В целом все приемы снижения загрязненности почв, содержащих большие количества ТМ, можно подразделить на предупредительные и приемы по ликвидации уже существующего загрязнения. Основное мероприятие по защите почв и растений от загрязнения тяжелыми металлами – это предотвращение загрязнения, которое базируется на совершенствовании технологий производства, создании замкнутых технологических систем, а также на контроле за внесением в почву отходов промышленности в качестве удобрений и мелиорантов. Широкое применение сточных промышленных вод для орошения сельскохозяйственных угодий ставит задачу очистки этих вод от тяжелых металлов. Для ликвидации уже существующего загрязнения и обезвреживания ТМ имеется много способов, кото-

рые можно объединить в следующие группы: механические, химические и агротехнические.

К механическим способам обезвреживания ТМ относятся:

1) Удаление верхнего, наиболее загрязненного слоя почвы и его захоронение. Японские исследователи рекомендуют проводить это мероприятие при загрязнении почвы кадмием более 20 мг/кг.

2) Перемешивание верхнего загрязненного слоя с незагрязненным грунтом.

3) Нанесение на загрязненную почву слоя чистой плодородной земли мощностью до 10 см или грунта. Прием может быть эффективен в зоне промывного водного режима. В почвах с непромывным водным режимом положительный эффект наблюдается лишь первые 4-5 лет, а затем часто следует вторичное загрязнение почв в результате вторичного засоления солями загрязняющих элементов. Положение исправляли созданием двухслойного покрова: насыпали слой карбонатного суглинка мощностью 10-15 см для создания экрана и защиты вышележащего насыпного гумусированного слоя.

Химические способы инактивации ТМ основаны на переводе этих элементов в малоподвижные соединения. Чаще всего в качестве мелиоранта используется известь. Известкование кислых почв дает положительный эффект для инактивации ТМ, т. к. вследствие возрастания рН ТМ выпадают из почвенного раствора в осадок в виде гидроксидов, карбонатов, фосфатов, уменьшается подвижность Hg, Cd, Zn, Cu, Ni и т.д. Кроме того, Ca^{2+} является антагонистом многих ТМ, и поэтому он снижает их поступление в растения. Однако металлы, присутствующие в почве в форме высокомолекулярных органических хелатов, могут оставаться достаточно растворимыми даже после сильного известкования. Также имеются данные об увеличении накопления Cr в растениях гороха при известковании. При загрязнении почв выбросами металлургических предприятий применение даже очень высоких доз извести (130 т/га) хоть и снизило содержание Cd, Zn и Cu в кормовых травах по сравнению с контролем, но

оно осталось выше ПДК. Проведение известкования рекомендуется, если содержание кадмия в почве меньше 20 мг/кг.

Дозы извести, обычно рекомендуемые при химической мелиорации кислых почв, для загрязненных тяжелыми металлами земель малоэффективны. На загрязненных почвах необходимо вносить более высокие дозы извести, чем на обычных. В зависимости от гранулометрического состава и кислотности почв дозы внесения извести для дерново-подзолистых и серых лесных почв изменяются в широких диапазонах (табл.)

Таблица

Дозы CaCO_3 для дерново-подзолистых и серых лесных почв (с содержанием гумуса до 3%), т/га (Черных Н.А. и др., 1999).

почвы	pH_{KCl}									
	4,5-4,6	4,7-4,8	4,9-5,0	5,1-5,2	5,3-5,4	5,5-5,6	5,7-5,8	5,9-6,0	6,1-6,2	6,3-6,4
песчаные	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
супесчаные	14	13	12	11	10	8	6,5	5,5	4,5	3,5
легкосуглинистые	16	15	14	13	11	9	7	5,5	5	4
среднесуглинистые	18	17	16	14	12	10	8	6	5,5	4,5
тяжелосуглинистые	20	19	17	15	13	11	9	7	6	5
глинистые	22	20	18	16	14	12	10	8	6,5	5,5

На торфяно-болотных почвах дозы CaCO_3 вносятся с целью доведения pH почвы до 5,5 в следующих количествах: при pH_{KCl} 3,8-4,4 доза 18-20 т/га; при pH_{KCl} 4,5-4,8 доза извести 14-16 т/га; при pH_{KCl} 4,9-5,2 доза извести 10-12 т/га; при pH_{KCl} 5,2-5,4 доза извести составляет 8 т/га. На оподзоленных и выщелоченных черноземах дозы извести вносят из расчета 2,0-2,5 Нг.

Ценным мелиорантом на загрязненных ТМ почвах является органо-карбонатный сапропель. Высокое содержание органического вещества, глинистых минералов и извести позволяет перевести тяжелые металлы в недоступные для растений формы. Внесение сапропеля в дозе 15 т/га снижало содержание ТМ в растениях в 2-3 раза.

В качестве мелиорантов также используются растворимые соли ортофосфорной кислоты, сера, силикаты и гидросиликаты, меркапто-8-триазин, ионообменные смолы и цеолиты. Фосфаты многих ТМ малорастворимы, и на этом основано применение фосфорных удобрений для инактивации ТМ. Добавление

серы в почву приводило к связыванию ртути. Эффективно внесение в почву ионообменных смол в виде гранулята или порошка, содержащих карбоксильную и гидроксильную группы в H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ формах.

Ряд авторов отмечает эффективность природных и искусственных цеолитов в качестве детоксикантов ТМ. Цеолиты как емкие катионообменники способны обменно поглотить наиболее мобильную часть загрязнителей, предотвращая их поток в растения. Однако поступление в растения анионной формы металлов не снижается. Кроме того, имеются данные об увеличении содержания валовых форм никеля, цинка, хрома и подвижных форм меди, цинка, никеля и кадмия при внесении цеолита в почву. В ряде случаев, несмотря на высокие дозы цеолитов (до 100 т/га) не удалось получить экологически безопасной продукции.

Один из подходов по проблеме санации почв основан на закреплении тяжелых металлов в почвах при использовании реакции комплексообразования с гуминовыми кислотами. Общеизвестно и использование для этих целей торфа, бурого угля, которые одновременно являются источниками гуминовых кислот.

Существуют также способы, направленные на удаление ТМ из верхнего корнеобитаемого слоя почвы. К ним относятся промывание загрязненной почвы различными экстрагентами, электромелиорация и фитомелиорация.

Для промывки загрязненных ТМ почв используются слабые растворы соляной и серной кислот, хлоридов алюминия и железа и ЭДТА. ТМ были более подвижны при вымывании раствором солей алюминия и железа, чем при использовании раствора серной кислоты. При промывке почв этими реагентами наблюдалась миграция ТМ с промывными водами и подкисление почв. Высокая степень извлечения ТМ из почвы (до 90% и более) отмечена при промывке ЭДТА, но при использовании этого экстрагента следует учитывать содержание карбонатов, т.к. на растворение кальцита может расходоваться до 90% внесенной ЭДТА. Увеличение концентрации ЭДТА повышает эффективность удаления ТМ. Однако при использовании этого способа существует опасность загрязнения грунтовых вод.

В последнее время был разработан новый способ очистки почв от ТМ – электромелиорация. Он основан на осаждении соединений ТМ, находящихся в проводящем растворе на катоде или аноде (в зависимости от знака заряда иона). Экспериментальные результаты показали, что Zn, Cu, Cr, Cd, Pb могут быть удалены из искусственно загрязненного песка с эффективностью более 90%. Эффективность очистки зависит от длительности обработки. За 7 дней мелиорации для меди и хрома была достигнута эффективность удаления 90%. Кроме того, на эффективность очистки влияет реакция среды и локальные условия (расстояние от анионообменной мембраны и количество металла, высвобождаемое различными фракциями почвы). Наиболее важными составляющими почв, влияющими на процесс очистки, являются органическое вещество, оксиды железа и глинистые минералы. Для усиления экстракции в почву добавляют ЭДТА или уксусную кислоту. При добавлении ЭДТА эффективность очистки достигает 100%. Однако электромелиорация является весьма дорогостоящим способом и предпочтение отдается фитомелиорации.

Фитомелиорация основана на использовании выноса химических элементов растениями. Для этой цели используются растения, способные накапливать ТМ в больших количествах (гипераккумулянты). В качестве таких растений зарубежными исследователями рекомендуются *Thlaspi caerulescens*, *Cardaminopsis halleri*, *Alyssum tenium*, *A. lesbiacum*, *A. murale*. Для вышеупомянутых растений вынос цинка с 1 га составил соответственно: 24-43 кг, 7,8 кг; 4,7 кг; 4,0 кг; 3,6 кг, тогда как для рапса масличного эта величина составляет 0,5 кг, а у редиса 0,2 кг. *Thlaspi caerulescens* также способен накапливать большое количество кадмия. При заготовке биомассы растений *Thlaspi caerulescens* вынос цинка может составить 60 кг/га, а кадмия – 8,4 кг/га. Рекомендуется также использовать *Vasora monnieri*, способное накапливать кадмий, медь, хром, марганец и свинец, для мелиорирования промышленно загрязненных переувлажненных земель. По данным болгарских исследователей, конопля (*Cannabis sativa* L.) выносит намного больше Pb, Cd, Cu и Zn по сравнению с другими культурами. Включение в севооборот конопли обеспечивало значительное снижение загряз-

нения почвы тяжелыми металлами. Значительные количества цинка и меди способен накапливать эспарцет, который также рекомендован для очистки почв от ТМ.

На практике способы обезвреживания ТМ применяются, как правило, в комплексе. Так, например, японскими исследователями после промывки загрязненных почв производилось внесение мелиорантов, снижающих подвижность ТМ. Также при использовании механических и химических способов инактивации ТМ рекомендуется проведение агротехнических мероприятий.

Меры борьбы с загрязнением почв радионуклидами в подавляющем большинстве случаев аналогичны мероприятиям по обезвреживанию ТМ.

2.5. Повышение урожайности и качества продукции

Проведение мероприятий по санации загрязненных тяжелыми металлами почв само по себе не может гарантировать получение высоких урожаев экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Подвижность тяжелых металлов и доступность их для растений в значительной степени контролируются такими свойствами почв, как кислотно-щелочные условия, окислительно-восстановительные режимы, содержание гумуса, гранулометрический состав и связанная с ними емкость поглощения. Поэтому, прежде чем переходить к разработке конкретных мероприятий по восстановлению плодородия загрязненных почв, необходимо определить критерии их классификации по опасности загрязнения ТМ, базирующиеся на совокупности физико-химических свойств.

На загрязненных тяжелыми металлами территориях для повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции необходимо также проведение агротехнических мероприятий:

1. Внесение органических и минеральных удобрений.
2. Подбор наиболее устойчивых к загрязнению тяжелыми металлами сельскохозяйственных культур.
3. Выявление сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к загрязнению ТМ и не накапливающих эти элементы в товарной продукции. Также целесообразно проведение селекции новых сортов по этим признакам.

4. Возделывание тех продовольственных культур, у которых в пищу используются плоды и семена, т.к. в репродуктивных органах растений ТМ накапливаются меньше, чем в вегетативных.

5. Если по каким-либо причинам проведение мероприятий по инактивации ТМ нецелесообразно, то на таких землях рекомендуется возделывать технические культуры: лен, коноплю, клещевину, картофель для переработки на крахмал или спирт, сахарную свеклу и т.д. Можно также использовать эти земли для семенных посевов овощных культур.

Однако, прежде чем выбирать агротехнические мероприятия или перечень культур для возделывания на конкретной территории, нужно определить количество токсичных элементов и их концентрацию в почве.

Применение органических удобрений (торфонавозных компостов, навоза, сидератов, соломы), увеличивающих буферность почвы, является эффективным средством снижения подвижности большинства тяжелых металлов. Органическое вещество является хорошим адсорбентом анионов и катионов и снижает концентрацию солей в почвенном растворе. Все это препятствует поступлению ТМ в растения. Наибольший эффект дает использование торфокомпостов. При загрязнении ТМ органические удобрения применяют в максимально возможных дозах с учетом потребности сельскохозяйственных культур в азоте, чтобы не происходило избыточного накопления нитратов в растительной продукции.

Применение фосфорных удобрений в большинстве случаев приводит к снижению подвижности ТМ и их доступности для растений вследствие образования труднорастворимых соединений. Эффективность применения фосфорных удобрений зависит от содержания ТМ в почве и реакции среды. Для нейтрализации ТМ фосфорные удобрения вносятся в больших количествах, чем необходимо для обеспечения планируемой урожайности. Так, фосфоритную муку целесообразно применять на почвах с $pH < 5,8$ в дозах от 300 до 1000 кг/га P_2O_5 , а суперфосфат – 120-150 кг/га с учетом обеспеченности почвы фосфором, планируемых урожаев и выноса. Кроме того, внесение минеральных (в том числе и фосфорных) удобрений ведет к созданию оптимального состояния растений,

увеличению их сопротивляемости неблагоприятным факторам внешней среды и снижению токсического действия ТМ на растительные организмы. Хорошие результаты дает совместное применение органических и минеральных удобрений.

Сельскохозяйственные культуры сильно различаются по устойчивости к загрязнению почвы тяжелыми металлами. Наименее устойчивы к загрязнению почвы ТМ зеленные овощные культуры: салат, шпинат, лук, укроп, петрушка. Более устойчивы к загрязнению почвы ТМ огурцы, томаты и кабачки. Средней устойчивостью к загрязнению отличаются свекла, морковь, капуста, лук-репка, турнепс и редис. К группе наиболее устойчивых к загрязнению тяжелыми металлами культур относятся картофель, пшеница, кукуруза, ячмень, овес, рожь, бобы и горох.

При подборе сельскохозяйственных культур для возделывания на загрязненных почвах необходимо исходить из их способности избирательно поглощать токсиканты. Так, на почвах с низким уровнем загрязнения, когда содержание тяжелых металлов достигает ПДК, необходимо применять комплекс мероприятий по устранению последствий загрязнения. На таких почвах нельзя выращивать наиболее чувствительные к ТМ сельскохозяйственные культуры (салат, шпинат, укроп, лук, петрушка). Не рекомендуется также выращивание кормовых культур. Допускается возделывание корне- и клубнеплодов при условии применения необходимых агрохимических мероприятий, направленных на снижение подвижности тяжелых металлов и поступления их в растения. При среднем и высоком уровнях загрязнения рекомендуется выращивать культуры, мало чувствительные к загрязнению и не накапливающие ТМ (технические, плодовые, зерновые на семена и фуражное зерно, многолетние травы на семена, цветы) при интенсивном применении агрохимических и агротехнических мероприятий, снижающих поступление ТМ в продукцию. При очень высоком уровне загрязнения почвы необходим специальный комплекс работ, так как обычные меры при этом малоэффективны и будет происходить не только загрязне-

ние продукции тяжелыми металлами, но и снижение урожая, в отдельных случаях вплоть до полной гибели с/х культур.

Необходимо также иметь в виду, что многие тяжелые металлы одновременно являются микроэлементами и поэтому повышенное содержание ТМ в почве способно стимулировать рост и развитие сельскохозяйственных культур, а также накопление ТМ в растениях в опасных для человека количествах.

При разработке агротехнических мероприятий по снижению загрязнения сельскохозяйственной продукции радионуклидами необходимо учитывать почвенно-климатические условия, систему земледелия и особенности поведения радионуклидов. Подбор культур в севооборотах – одно из наиболее эффективных агротехнических мероприятий в условиях радиоактивного загрязнения. Рекомендуются высевать культуры, обладающие малыми коэффициентами накопления радионуклидов: зернобобовые, крупяные, кукурузу на зерно, картофель, корнеплоды. Целесообразно также заменять позднеспелые сорта на раннеспелые.

Внесение в почву, загрязненную радионуклидами, минеральных и органических удобрений влияет на вынос радионуклидов растениями. Применение калийных удобрений способствует снижению поступления ^{90}Sr и ^{137}Cs в растения вследствие неизотопного разбавления этих радионуклидов. Это в особенности относится к ^{137}Cs , который является близким химическим аналогом калия. Использование фосфорных удобрений приводит к соосаждению ^{90}Sr при кислотности почвы, близкой к нейтральной. Азотные удобрения в различных условиях могут оказать неодинаковое действие на поступление радионуклидов в растения. Применять их следует в первую очередь для повышения урожайности.

Внесение извести на кислых почвах приводит к уменьшению концентрации ^{90}Sr в урожае не только за счет его осаждения и неизотопного разбавления кальцием, но и за счет увеличения урожайности.

Внесение органических удобрений, особенно на легких по гранулометрическому составу почвах, приводит к усилению закрепления ^{90}Sr и других ра-

дионуклидов в катионной форме за счет повышения катионообменной емкости поглощения почв и отчасти за счет комплексообразовательной сорбции с органическими веществами. На кислых дерново-подзолистых почвах наилучшие результаты дает совместное применение органических удобрений и извести.

При значительном загрязнении почвы радионуклидами рекомендуется возделывать технические культуры (сахарную свеклу, картофель на крахмал), т.к. современные технологии переработки позволяют получить радиационно безопасную продукцию.

Раздел 3. Современные технологии повышения плодородия почв в земледелии

3.1. Энергосберегающие системы обработки почвы, повышающие ее плодородие.

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 (CO_2) 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 нуле-

вая. 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 противоэрозионной 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 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 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.

По пригодности почв к нулевой обработке D. Davies (1970) подразделил их 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.

Ко *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 миллиона 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. Исключение составляют комплекты машин производства российско-германского машиностроительного объединения ЗАО "Евротехника".

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.

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 раздельному 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 конкурентно-способным 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 этого 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.

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_{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.

Посев в мульчу снижает запыление почвы, предотвращает водную и ветровую эрозии, уменьшается поверхностный сток и смыв почвы (табл. 1). Вследствие заделки растительных остатков в верхний слой почвы улучшается ее инфильтрационный режим за счет лучшего распределения капилляров и повышенной активности дождевых червей.

Таблица 1.

Влияние мульчи на поверхностный сток и вынос почвы по данным Frielinghaus, 1998

Покрытие почвы мульчей, %	Растительные остатки, т/га сухой массы	Поверхностный сток, %	Вынос почвы, %
0	0	45	100
<20	0,5	40	25
<30	1	25	8
= 50	2	0,5	3
= 70	4	0,1	<1
>90	8	не измеримый	<1

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 технологических процессов, и почва менее страдает от переуплотнения. Преимущества вариантов консервирующей обработки почвы, после их многолетнего применения в севообороте, и их влияние на изменение физических, химических и биологических свойств почвы приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Влияние длительной бесплужной обработки почвы на ее физические, химические и биологические свойства по сравнению с обработкой с оборотом пласта (Ehlers W.,2003) + = больше; - = меньше; +/- = без изменения

Свойство или признак	Глубина почвы, см		
	0-10	10-25	>25
Плотность почвы	+++	++	--
Объем пор	--	-	+
Крупные поры		+/-	+
Непрерывные поры	+++	+++	+++
Стабильность почвенных частиц	+++	++/-	+/-
Инфильтрация воды	+++	+++	+++
Газообмен	+/- (-)	+/- (-)	
Нагревание	—	--	+/-(-)
С орг, Nt, P, K	+++		+/-
pH		++	++
Почвенная флора и фауна	+++		+/-
Дождевые черви	+++	+++	+++
Минерализация азота	++		+/-
Проникновение корней	+(+/-)	- (+/-)	+ (+/-)

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. Урожаи последних 15 лет подтверждают предпочтительность этого приема. Следовательно, мульчированный посев представляет собой высокоурожайный и почвощадающий 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 влагоместимость, 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.

Преимущества поверхностной мульчированной обработки очевидны при возделывании пшеницы. Если соломенная мульча оставалась на поле до возделывания пшеницы в конце сентября – начале октября, и если она вносилась в почву поверхностно, с помощью культиватора или дисковой бороны, урожай составлял 8,4 т/га или увеличивался на 12%. Такой же уровень урожая был достигнут после прямого посева в соломенную мульчу. Причиной увеличения урожая пшеницы явилось более хорошее водоснабжение почвы после поверхностной мульчированной обработки и прямого посева. В период между прорас-

танием и цветением, с высокой потребностью в воде, пшеница использовала в среднем на 20-40 мм больше влаги, чем после вспашки.

Мелкосемянный рапс также можно успешно сеять по бесплужной технологии. По сравнению с плужной обработкой урожай рапса повышается с меньшими энергозатратами.

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 костра 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 пропускались

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.

3.2. Научные основы севооборотов в повышении плодородия почв.

В системе мер по повышению плодородия почв главное место занимают обоснованные севообороты.

Важнейшей задачей севооборотов 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. Бессменная 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.

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.

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 противозрозионные 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 пра-

вильной 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 непаханой 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 (обработка – 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 урожае зеленой массы 22,0—25,0 т/га вигна, выращенная как промежуточная культура, при уборке на корм оставляет в почве около 4,4—5,0 т/га воздушно-сухих корневых и поукосных остатков. При запарке зеленая масса промежуточных культур с узким отношением углерода к азоту играет роль катализатора процессов разложения и других солоmistых 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 (4-7 т/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%. 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.

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 рых-

ления 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.

3.3. Использование пожнивных сидеральных культур и соломы для воспроизводства органического вещества почв.

Важное направление биологизации земледелия — широкое использование в качестве органического удобрения сидератов и соломы сельскохозяйственных культур.

Сегодня правомерно говорить о задачах и путях повышения роли биологических факторов, их интенсификации в современном российском и мировом земледелии. Длительная эксплуатация почв привела к ухудшению их физических и физико-химических свойств, в результате чего повсеместно отмечается снижение уровня и устойчивости продуктивности всех типов почв. Деградация почвенного покрова обусловлена, в первую очередь, снижением в нем запасов органического вещества.

Существенное пополнение запасов органического вещества в почве можно обеспечить за счет пожнивных посевов и корневых остатков бобовых культур, особенно многолетних трав. Многолетние травы служат важным источником органического вещества и биологического азота в почве, потребности в котором с интенсификацией земледелия возрастают. Не менее важную роль выпол-

няют многолетние травы в улучшении физических свойств почвы, в оздоровлении ее и защите от эрозии.

Эффективное плодородие в значительной степени реализуется благодаря деятельности микроорганизмов, поскольку условия питания растений во многом определяются напряженностью биохимических превращений растительных остатков, органических удобрений и гумуса почвы. Биологическая активность, отражающая комплекс процессов превращения органических веществ, является важной и достаточно точной характеристикой комплекса почвенных условий.

Для сохранения воспроизводства плодородия почвы целесообразно использовать энергосберегающие приемы возделывания сельскохозяйственных культур. Особенно велика роль сидератов в обогащении почвы органикой, а при возделывании бобовых сидеральных культур и экологически чистым биологическим азотом. Корневая система многих сидеральных культур способна извлекать из глубоких слоев почвы элементы питания (фосфорную кислоту, кальций, магний и др.). После заделки зеленого удобрения и минерализации эти элементы становятся доступными для сельскохозяйственных культур. В качестве сидеральных смесей следует подбирать культуры с высокой надземной массой, которые одновременно повышают плодородие почв и улучшают их фитосанитарное состояние.

Правильный подбор сидеральных культур для различных условий агроландшафтов способствует эффективному решению проблемы оптимизации экологического состояния почв, повышению урожайности последующих культур севооборота.

Если использовать бобово-злаковую смесь, то по эффективности зеленое удобрение не уступит навозу по обогащению почвы гумусом и азотом. Однако оно не обеспечивает растения всем набором питательных элементов (кальций, магний и др.). Поэтому применение сидератов не исключает использование навоза или компоста полностью, но позволяет значительно сократить их дозы. Выращивание сидеральных культур улучшает водный и воздушный режим почвы за счет рыхлящего свойства корневой системы растений. Это особенно

заметно при возделывании злаковых культур, разветвленные и мочковатые корни которых «разбивают» почву на мелкие кусочки. Такое действие благоприятно для тяжелых уплотненных почв, в которые плохо проникает вода. На легких песчаных почвах листовой покров зеленого удобрения играет роль живой мульчи, препятствуя вымыванию питательных веществ из верхнего горизонта. Поэтому и рекомендуется на таких почвах высевать сидеральные культуры осенью, оставлять их на зиму не скошенными, а весной заделывать в почву и живые, и отмершие растения. Некоторые из сидеральных культур играют роль санитаров почвы, защищая культурные растения от болезней и вредителей. Посев редьки масличной перед посадкой картофеля подавляет распространение нематоды.

В качестве сидератов используют бобовые культуры: многолетний и однолетний люпин, сераделлу, донник, озимую и яровую вику, горох, пелюшку, чину, чечевицу, эспарцет, клевер, люцерну и др. Из небобовых культур представляют интерес горчица, гречиха, озимый и яровой рапс, озимая рожь, озимая и яровая сурепица и др. Бобы кормовые – богатый источник азота – лучше других бобовых растут на тяжелых почвах. Годятся для подзимнего посева, особенно в районах с мягкой зимой. Высевают их в смеси с викой и горохом полевым.

Бобовые культуры в результате азотфиксации накапливают большое количество азота. При высоких урожаях зеленой массы сидератов (35-40 т/га) в почву попадает 150-200 кг/га азота, что равноценно 30-40 т/га навоза.

Сидеральные культуры применяют во многих земледельческих зонах нашей страны, особенно на почвах легкого гранулометрического состава с низким плодородием. Хороший эффект от сидерации получается и на связных почвах, если этот прием используется в агрокомплексе зональной системы земледелия.

Эффективность влияния сидеральной культуры зависит не только от количества надземной и корневой массы растений, но и от содержания питательных элементов в органическом веществе сидерата, скорости их минера-

лизации в почве. Запашка зеленой массы существенно повышала уровень негумифицированного вещества в почве. Анализ зеленой массы люпина и его корней показал, что в урожае сидерата содержится в среднем 2,5% азота, 0,6% фосфора и 0,8% калия. После заделки в почву люпина белого содержание в почве легкогидрализованного азота составило 16,8 мг, подвижного фосфора – 8,2 мг, обменного калия – 12,5 мг/100 г почвы.

Дополнительная аккумуляция энергии солнца поживными холодостойкими высокопродуктивными сидеральными видами растений обеспечивает повышение плодородия почв и урожайность картофеля. Растениями интенсивного типа вегетации осенью в поживный период являются экологические пластичные виды капустных культур – редька масличная, яровой рапс, горчица белая, а также из зерновых – озимая рожь, отличающаяся устойчивостью к низким температурам.

Следует отметить, что коэффициент использования азота зеленого удобрения, особенно бобовых культур, в первый год действия часто выше, чем навоза. При запашке небольшого количества зеленого удобрения азот наиболее полно потребляется растениями. В опытах М.С. Жукова коэффициент использования азота люпина при запашке всей массы был равен 13,9%, отавы — 34,4% стерни и корневых остатков – 69,8%. При отрастании отавы люпина активизируется азотфиксирующая деятельность клубеньковых бактерий, что повышает содержание азота в надземной массе и корнях отавы. Сидераты обогащают пахотный слой почвы усвояемым фосфором, калием и другими элементами питания.

На легких почвах в Вуберне (Великобритания) при ежегодном запахивании сидератов в течение 7 лет содержание органического вещества увеличилось на 10%. На Ротамстедской опытной станции зеленое удобрение с 1936 по 1966 г. способствовало накоплению органического углерода в почве около 35 т/га.

В Баварии (Германия) применение зеленого удобрения на суглинистой почве в течение 25 лет повысило содержание гумуса с 2,2-2,3% до 2,8%, в то вре-

мя как при внесении только минеральных удобрений оно снизилось до 1,9% (Довбан, 1981).

Зеленое удобрение изменяет фракционный состав гумуса. Так, в длительных опытах на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве в экспериментальном хозяйстве «Снегири» Московской области зеленая масса люпина увеличивала содержание гуминовых кислот на 20-30%, в то время как абсолютное и относительное содержание фульвокислот уменьшалось.

Обогащение почвы органическим веществом и биологическое закрепление почвенными микроорганизмами питательных веществ резко уменьшают возможность их вымывания, особенно азота, в нижние слои почвы и препятствуют закреплению фосфора в виде труднорастворимых минеральных соединений (иммобилизации) благодаря образованию органических фосфорных соединений.

Сидераты можно с успехом применять в зоне достаточного увлажнения на всех почвах, а также в зоне орошаемого земледелия.

При недостатке в хозяйствах навоза и других органических удобрений, а также на участках, удаленных от животноводческих ферм, с успехом применяют многолетний люпин в качестве сидеральной культуры, значительно повышающей плодородие почвы. Он имеет хорошую азотфиксирующую способность, холодостоек. Хорошо вызревает, может расти на самых различных по гранулометрическому составу почвах с широким интервалом pH — от 4,0 до 6,5.

Хорошая сидеральная культура на легких по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почвах — сераделла. Зеленая масса по питательной ценности не уступает клеверу. Обычно ее используют на корм, а отаву запахищают на удобрение. Часто ее подсевают рано весной под озимую рожь. После уборки покровной культуры (ржи) интенсивно отрастает, и к поздней осени урожайность зеленой массы достигает 100-150 ц/га.

При запашке зеленого удобрения и соломы растет доля бацилл, использующих минеральный азот почвы, что служит показателем интенсивно иду-

щего процесса разложения органического материала. Большой вред сельскохозяйственным культурам наносят фитопатогенные грибы, вызывающие корневые гнили. Основными носителями инфекции корневых гнилей являются растительные остатки и семена. Чем быстрее они разлагаются в почве, тем активнее гриб выводится из состояния покоя, а почва освобождается от инфекции. Поэтому зеленое удобрение играет важную фитосанитарную роль в севооборотах благодаря увеличению численности сапрофитной микрофлоры, ускоряющей минерализацию растительных остатков и вытесняющей фитопатогенные грибы. Пожнивные сидераты способствуют увеличению в почве количества актиномицетов-антагонистов возбудителей корневых гнилей. Иногда сидерат выращивают в выводном поле, а затем переводят и запахивают зеленую массу в полях севооборота (укосное зеленое удобрение). Для этого лучше всего подходит многолетний люпин.

Отаву используют для заделки после отрастания рано скошенных бобовых культур, главным образом в дерново-подзолистой зоне, особенно на почвах легкого гранулометрического состава. Ценность органических остатков промежуточных культур обусловлена не только их количеством, но и качеством, их химическим составом. Помимо значительного содержания зольных элементов, молодые растения промежуточных культур в период их кормовой спелости имеют много азота и узкое отношение углерода к азоту. Соотношение C:N в зеленой массе рапса озимого составляет от 6 до 10; горчицы – от 8 до 10, а с учетом корней у рапса озимого – до 12 до 15, у горчицы белой – от 13 до 17, у райграса подсевного – от 14 до 16. В соломе и корневых остатках зерновых культур оно достигает 40-50 и больше.

Повышенное содержание азота в органической массе промежуточных культур способствует сужению соотношения C:N в общей массе органических остатков, поступающих в почву за ротацию плодосменного севооборота, особенно при использовании промежуточных культур в качестве сидерата.

Высокая эффективность зеленых пожнивных удобрений связана в первую очередь с их действием на микробиологические процессы в почве. Зеленая

масса с узким соотношением углерода к азоту при запашке в почву выполняет роль катализатора ускоряющих процессы разложения других органических остатков в почве. Прямой учет количества почвенной микрофлоры показал, что при запашке пожнивных сидератов в почве возрастает число актиномицетов и других групп наиболее активной почвенной микрофлоры. Показателем повышения биологической активности почвы является увеличение в 1,5—2 раза количества углекислого газа, выделяющегося из почвы, и степени разложения клетчатки. В результате интенсивного распада зеленых удобрений и органических остатков в почве накапливаются доступные для растений формы азота.

Одним из источников пополнения органики является запашка соломы. Ее широко используют в отечественной и зарубежной земледельческой практике, в хозяйствах, специализирующихся на производстве зерна и обеспечивающих хорошую кормовую базу для животноводства.

Химический состав соломы довольно широко изменяется в зависимости от почвенных и погодных условий года. В среднем она содержит 0,5% N, 0,25% P_2O_5 , 0,8 % K_2O и 35-40% углерода в форме различных органических соединений, некоторое количество серы, кальция, магния, различных микроэлементов (бор, медь, марганец, молибден, цинк, кобальт и др.).

При средней урожайности зерновых (20-30 ц/га) в почву с соломой может быть возвращено 10-15 кг азота, 5-8 кг фосфора, 18-24 кг калия, а также соответствующее количество микроэлементов. Углерод соломы — важный элемент для образования гумуса почвы, а также углекислоты (CO_2) для воздушного питания (фотосинтеза) растений.

По химическому составу солома зерновых культур характеризуется довольно высоким содержанием безазотистых веществ (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнины) и низким — азота и минеральных элементов. Широкое отношение C:N в соломе (от 70 до 80) оказывает большое влияние на разложение ее в почве. Соломаставляет микрофлоре почвы легкодоступный источник углерода.

Существует несколько способов использования соломы на удобрение. Измельченную и разбросанную по полю солому запахивают осенью при подъеме зяби или весной в районах достаточного увлажнения. Целесообразно этот прием сочетать с зеленым удобрением. Иногда, особенно на почвах тяжелого гранулометрического состава и во влажных климатических условиях, разбросанную по полю солому не запахивают, а заделывают поверхностно луштыльником, дисковой бороной или фрезой. Такой способ заделки в этих случаях эффективнее по сравнению с заделкой плугом. Там, где можно, после поверхностной заделки соломы желательно посеять промежуточную пожнивную, лучше бобовую, культуру.

Установлено, что на тяжелых лесных почвах наиболее эффективна неглубокая заделка измельченной соломы дисковой бороной. При этом вблизи поверхности почвы создается слой из растительных остатков, выполняющий почвозащитную роль, особенно для снижения водной эрозии. Ежегодно с соломой в расчете на гектар в биологический круговорот возвращается в среднем 25 кг калия, около 12 кг азота, 104 г цинка, 15,6 г бора. Для обеспечения положительного баланса гумуса необходимо ежегодно вносить на 1 га севооборотной площади 10-15 т навоза. В опытах по запашке биологического урожая соломы озимой пшеницы потери гумуса в почве уменьшились на 50-70% по сравнению с контролем.

На полях с длительным применением соломы на удобрение, которая служит доступным энергетическим материалом для почвенной сапрофитной микрофлоры, сложился стабильно более высокий уровень биологической активности почвы. Так, возросла численность агрономически ценных групп микроорганизмов: аммонификаторов в 1,6-2,1 раза, целлюлозоразрушающих в 1,8-2,5, нитрификаторов в 1,7-2,4 раза. При отсутствии или недостатке свежего органического вещества в почве начинает развиваться автохтонная микрофлора, разрушающая гумус, патогенные микроорганизмы и возбудители болезней растений.

Систематическое использование соломы на удобрение в значительной степени оптимизирует физические свойства тяжелой серой лесной почвы: уменьшается ее плотность, возрастают влаго- и воздухопроницаемость, водоудерживающая способность.

При компостировании соломы в аэробных условиях выход гумуса составил 7,9%, а при добавлении к соломе минерального азота — 8,5% общей массы соломы. Наиболее интенсивно гумус образуется в первые 4 мес. компостирования, в период разложения целлюлозы. Причем гумус накапливается в максимальном количестве в период самой высокой численности микроорганизмов, что указывает на участие их в образовании гумуса.

Положительное действие соломы на плодородие почвы и урожай сельскохозяйственных культур возможно при наличии необходимых условий для ее разложения. Так, скорость микробного разложения зависит от наличия в почве источников питания для микроорганизмов, их численности, видового состава и активности, типа почвы, ее окультуренности, температуры, влажности, аэрации и др. Например, разложение соломы усиливается при использовании различных источников азота, дополнительном внесении фосфора на почвах, бедных фосфором, внесении микроэлементов.

Отмечено также, что интенсивность разложения клетчатки возрастает от дерново-подзолистых почв к серым лесным и черноземам. Оптимальная температура разложения клетчатки 28—30°C и влажность почвы 60—70% полной влагоемкости. Интенсивность разложения соломы в верхнем слое почвы заметно возрастает, что объясняется хорошей аэрацией почвы, а также наличием большого количества разнообразных микроорганизмов.

Внесение соломы усиливает азотфиксирующую способность почвы, ее ферментативную активность. В сочетании с минеральными удобрениями жидкий навоз или, с использованием в качестве сидератов бобовых культур, солома по действию на содержание гумуса в почве часто не уступают эквивалентному количеству навоза.

Все сидеральные культуры и солома пшеницы способствовали увеличению фотосинтетического потенциала (ФСП) чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) посевов сои.

Значительное влияние на агрофизические свойства почвы, в том числе и на ее плотность, оказывает использование на удобрение соломы. Так, на вариантах с внесением побочной продукции озимой пшеницы под сахарную свеклу плотность почвы была ниже, чем без нее. Наибольшие величины разницы в среднем за ротацию севооборота ($0,062$ и $0,086 \text{ г/см}^3$) наблюдаются в период смыкания рядков. Самые большие различия в плотности почвы при уборке достигали $0,049 \text{ г/см}^3$. В целом, в вариантах с внесением соломы агрофизические показатели почвы были более благоприятны для произрастания растений.

Бездефицитного или даже положительного баланса гумуса ($+4 \text{ кг}$ на 1 га севооборотной площади) без использования органических удобрений можно добиться введением в севооборот двух полей сидеральных промежуточных культур. Поздний посев смеси подсолнечника и вики в третьем и кукурузы с горохом в пятом поле севооборота позволяет увеличить приходную часть органического вещества на 1453 кг/га .

Применение зеленого удобрения в чистом виде, а также – совместно с соломой в значительной степени способствовало снижению засоренности почвы.

Важно, чтобы сидеральные культуры давали не только высокий урожай зеленой массы на корм скоту, но и оставляли значительное количество органических веществ и улучшали агрохимические и физические свойства малоплодородных земель.

Получать хорошие урожаи сельскохозяйственных культур и повышать эффективность зеленого удобрения можно при использовании его в сочетании с навозом, различными компостами, а также с минеральными удобрениями.

Практика отечественного земледелия показывает, что по мере окультуривания почв, вследствие комплексного использования всех видов минеральных и органических удобрений, введения специализированных севооборотов и т. д. наиболее целесообразно применять промежуточное зеленое удобрение. Си-

деральные пары, то есть самостоятельное зеленое удобрение, целесообразны на неокультуренных, бедных органическим веществом почвах с низким плодородием. Зеленое удобрение снижает засоренность полей, повышает продуктивность севооборота, качество получаемой продукции. Научно обоснованное применение зеленого удобрения и соломы – важный показатель высокой культуры земледелия, его интенсификации. Поэтому комплексное использование всех видов органических удобрений для пополнения запасов гумуса в почве, создания не только бездефицитного, но и положительного его баланса — важная задача современного земледелия.

3.4. Использование органических удобрений, сапропелей и отходов производства в поддержании гумусового состояния почв.

В почвах, активно используемых в сельском хозяйстве, за счет ежегодного отчуждения большей части растительных остатков с урожаем происходит снижение содержания гумуса, т.е. дегумификация почв. Дегумификация ведет к дальнейшему снижению урожаев и, в конечном итоге, к выводу земель из сельскохозяйственного использования.

Для борьбы с этими нежелательными явлениями необходимо строго следить за сохранением гумусового баланса в почве. Необходимо иметь в виду, что снижение содержания гумуса в почве происходит не только вследствие выноса органического вещества с урожаем, но и в результате обработок почвы и применения минеральных удобрений.

Чтобы компенсировать потери гумуса в результате процессов минерализации (разложения), необходимо вносить в почву органическое вещество в виде органических удобрений. В качестве органических удобрений в сельском хозяйстве обычно используется навоз, торф, компосты, птичий помет и т.д. Также в качестве органических удобрений можно использовать сапропель (озерный ил), а также коммунально-бытовые отходы, например, осадки сточных вод (ОСВ).

Применение навоза позволяет компенсировать потери органического вещества почвы. Навоз в среднем содержит 25% сухого вещества, 0,5% общего

азота, азота, 0,2% фосфора, 0,6% калия, значительное количество кальция, а также микроэлементов. В зависимости от содержащихся на фермах животных может быть навоз от крупного рогатого скота (КРС), свиной, овечий и конский. Наиболее богат питательными веществами овечий и конский навоз: содержание азота доходит до 0,83%, а калия – до 0,67%. Навоз, полученный от КРС, беднее питательными веществами, а свиной навоз занимает промежуточное положение.

Дозы внесения навоза, как правило, составляют 20-40 т/га, но в некоторых случаях, обычно под овощные культуры, вносится 60-80 т/га и более. Нормы навоза для внесения под сельскохозяйственные культуры устанавливают дифференцированно в зависимости от вида культур, потребности их в питательных веществах, планируемого урожая, качества удобрения, уровня плодородия почвы, ее механического состава и предшественника.

При использовании подстилочного свиного навоза нормы его принимают на 15-20% меньше по сравнению с подстилочным навозом КРС. Это обусловлено тем, что содержание азота и фосфора в свином навозе, как правило, выше, чем в навозе КРС.

Полуперепревший навоз КРС содержит N – 4,5; P₂O₅ – 2,5; K₂O – 5 кг/т. В среднем дозы навоза КРС для озимых зерновых составляют 30-50 т/га, а для пропашных 40-60 т/га. Дозы навоза могут также различаться в зависимости от содержания гумуса в почве.

Навозная жижа получается непосредственно на скотных дворах за счет той части жидких выделений животных, которая остается не впитанной подстилкой, а кроме того, стекает в жижеприемники при навозохранилищах. Содержание питательных веществ в навозной жиже колеблется в широких пределах и зависит от многих факторов. Навозная жижа представляет собой азотно-калийное удобрение, а фосфора содержится очень мало. В среднем содержание в жиже азота составляет 0,2-0,25%, а содержание калия – 0,4-0,5%. Содержащиеся в жиже питательные вещества находятся в растворимой форме, поэтому навозная жижа является быстродействующим удобрением. Дозы внесения на-

возной жижи как основного удобрения обычно составляют 10-20 т/га, при использовании жижи в качестве подкормки – 5 т/га. Навозная жижа применяется для удобрения сахарной свеклы, овощных и зерновых культур.

При использовании птичьего помета и компостов на его основе необходимо иметь в виду, что помет богаче элементами питания, чем навоз крупного рогатого скота и свиней. Соответственно, дозы внесения пометных удобрений ниже.

Торф – это растительные остатки, разложение которых происходит в условиях ограниченного доступа воздуха или при полном отсутствии кислорода, он представляет собой волокнистую или пластичную массу черного или бурого цвета. Накопление торфа происходит в болотах. В зависимости от происхождения и состава различают верховые, низинные и переходные торфа.

Низинный торф, обычно хорошо разложившийся (степень разложения 30-60%), имеет высокую зольность – 7-25%, иногда зольность превышает 50%. Содержание P_2O_5 в низинном торфе составляет 0,15-0,7%, общего азота от 2 до 4%, CaO – 2-4,5%, pH 4,5-6,5. Верховой торф отличается низкой степенью разложения 5-20% (иногда до 50%), низкой зольностью – 2-5% и кислой реакцией среды – pH 2,8-3,5. Содержание P_2O_5 в верховом торфе довольно низкое – 0,1-0,25%, количество общего азота 1-2%, содержание CaO ниже, чем в низинном торфе – 0,30-0,48%. Переходный торф занимает промежуточное положение: степень разложения – 20-45%, зольность – 5-10%, общий азот – 1,7-4,2%, P_2O_5 – 0,15-0,35%, CaO – 0,6-2,3%. Необходимо отметить, что во всех торфах содержание K_2O очень низкое – 0,04-0,2% (очень редко до 0,3%), поэтому на торфяных почвах растения будут испытывать дефицит этого элемента. Содержание калия в низинном торфе более высокое, чем в верховом.

Иногда встречаются торфы с высоким содержанием фосфора – до 8% P_2O_5 , что объясняется присутствием вивианита. Такой торф (торфовивианит) – ценное органо-минеральное удобрение, которое вносят из расчета 90-120 кг/га P_2O_5 . До внесения в почву торфовивианит необходимо проветрить, чтобы фосфорная кислота стала доступной для растений.

С кислотностью торфа тесно связано содержание в нем обменного алюминия, количество которого обычно увеличивается с ростом кислотности. Подвижный алюминий оказывает неблагоприятное действие на сельскохозяйственные растения при содержании его более 5 мг.-экв. на 100 г абсолютно сухого торфа. Наибольшее содержание подвижного алюминия отмечается в верховых торфах.

В качестве удобрения обычно используется низинный торф. Применение чистого торфа в качестве удобрения нецелесообразно из-за низкой эффективности. Низинный торф, несмотря на высокое содержание азота, нельзя рассматривать как непосредственное азотное удобрение. Его необходимо считать потенциальным азотным удобрением, т.к. азот становится доступным для растений лишь при разложении органического вещества.

От применения торфа на удобрение в чистом виде нужно воздерживаться и применять его в виде торфяного навоза и торфо-навозных компостов. Компостирование торфа с навозом заметно повышает эффективность низинных торфов. По своему действию на урожай картофеля и зерновых культур навоз на торфяной подстилке эффективнее соломистого навоза. Торфокомпосты, в которых соотношение торфа и навоза было 1:1, по своему действию на урожай основных сельскохозяйственных культур почти одинаковы с навозом. Более высокое содержание торфа в компосте сильно снижает его эффективность. Правильно приготовленные торфо-навозные и торфо-жижевые компосты приближаются к действию таких же доз навоза, а торф-фекальные превосходят его.

Озерный ил (сапропель) – это современные иловые отложения пресноводных водоемов, разложение которых протекает под слоем воды. Химический состав сапропелей очень сильно зависит от места отбора. Содержание органического вещества колеблется от 10 до 85%, содержание азота достигает 6%, фосфора от 0,25 до 5,16%, кальция от 0,98 до 41% (озерная известь). В сапропелях содержатся многие микроэлементы, такие как бор, молибден, цинк, кобальт. Все это позволяет отнести сапропели к ценным местным органо-минеральным удобрениям. Наличие в сапропелях белков, углеводов, растительных масел, ви-

таминов D₁, B₁, B₂, B₁₂ и каротина позволяет использовать их в животноводстве в качестве стимулятора роста.

Групповой состав органического вещества сапропелей значительно различается в зависимости от месторождения: гуминовые кислоты – 11,3-43,4%, фульвокислоты – 2,1-23,5%, негидролизуемый остаток – 5,1-22,6%, гемицеллюлоза – 9,8-52,5%, целлюлоза – 0,4-6,0%, водорастворимые вещества – 2,4-13,5%, битумы А – 3,4-10,9%, битумы С – 2,1-6,6%.

Внесение сапропелей в почвы приводит к увеличению содержания гумуса, азота, фосфора, калия и кальция, изменяется агрегатный состав почв, улучшаются водно-физические и химические свойства, усиливается деятельность почвенных микроорганизмов. Все это приводит к увеличению плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Особо рекомендуется вносить сапропели на бедных песчаных почвах, т.к. сапропели содержат большое количество илистых частиц. Дозы внесения сапропелей обычно составляют 30-60 т/га, но на песчаных и торфяных почвах они могут достигать 100-200 т/га.

Хорошо окультуренные почвы менее отзывчивы на сапропели, вносимые в чистом виде непосредственно из месторождения, и требуют меньшего количества этого вида удобрений. В то же время все виды сельскохозяйственных культур на таких почвах хорошо отзываются на навозно-сапропелевые компосты.

Почвы со слабо выраженным гумусовым горизонтом, плохо или слабо окультуренные, имеющие кислую реакцию почвенного раствора (рН=4,5), при остальных одинаковых показателях более отзывчивы на внесение сапропелей.

Сапропели с большим содержанием органического материала и гумуса, предварительно выдержанные на воздухе, могут использоваться с большим успехом, чем торф, в качестве органо-минеральных удобрений.

Известковые сапропели особенно ценны для известкования кислых дерново-подзолистых, глеевых и луговых почв. При внесении сапропелей в количестве 40 т/га растения за счет органической части сапропеля получают не менее 2 т гумуса; такое количество не дает ни одно минеральное удобрение. Минер-

ральная часть сапропелей даст при этом около 300-400 кг фосфора, 150-200 кг калия и 200-250 кг азота. Наряду с этим растения получают марганец, бор, молибден, цинк и другие важные микроэлементы.

Наибольший сельскохозяйственный эффект по сапропелевым удобрениям дают однолетние травы, озимая рожь, овес и картофель, а из овощей – репчатый лук и капуста.

Особенно хорошие результаты получаются при компостировании сапропелей с навозом. Такие навозно-сапропелевые компосты показали большую хозяйственную эффективность при внесении их под все виды овощей, картофель и зерновые культуры.

Обычно сапропелево-навозные компосты, приготовленные в пропорции 10-15 т сапропеля к 3-6 т навоза, повышают урожайность овощных культур на 30-45% по сравнению с полями, удобренными только одними сапропелями. На подзолистых и глеевых почвах при недостатке навоза следует вносить на 1 га по 10-15 т сапропеля и 1-1,5 т навозной жижи или перепревшего навоза. Навозную жижу или перепревший навоз можно заменить торфом, который использовался на скотном дворе.

Сапропелевые удобрения вносятся в почву при влажности 45-70%. При влажности ниже 30-35% они длительное время остаются инертными и слабо используются растениями. При влажности менее 20% сапропели цементируются.

Осадки сточных вод (ОСВ) представляют собой коммунально-бытовые и промышленные отходы, концентрирующиеся на иловых площадках очистных сооружений и в отвалах. В РФ количество ежегодно образующихся ОСВ оценивается 2,6 млн т. ОСВ в среднем содержат 25% сухого вещества, 0,5% общего азота, 0,4% P_2O_5 , 0,02% K_2O , 15% органического вещества и по своему действию на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур близки к навозу. Однако в ОСВ может содержаться большое количество тяжелых металлов, поступающих из стоков промышленных предприятий. В таком случае их вносят в дозе 4-6 т/га в год или 15 т/га 1 раз в 3 года.

Осадки сточных вод предприятий пищевой промышленности отличаются от ОСВ городских стоков и имеют более высокую удобрительную ценность. ОСВ сахарных заводов имеют щелочную реакцию (рН-8,2), высокое содержание минеральных веществ (>60%), в состав которых входят остатки земли и извести. Данные ОСВ содержат 18% CaCO_3 , 0,48% общего азота, 0,40% калия, однако содержание фосфора низкое. ОСВ сахарных заводов рекомендуется применять на кислых почвах.

К промышленным отходам относятся органические отходы различного происхождения, которые могут быть применены в качестве удобрений. Их можно разделить на три группы:

1) Отходы, требующие компостирования: перо, пух, шелуха семян масличных растений, яблочный жмых.

2) Отходы, требующие заблаговременного внесения в почву: отходы кожевенных заводов, шерстяные отходы, отходы фетровых и щетинных фабрик.

3) Отходы, пригодные для удобрения без ограничений: отходы боен, рыбные отходы, мездра, роговая стружка, отходы табачного производства, клещевинный, хлопковый, рапсовый, сурепный жмыхи.

Среди промышленных отходов особое место занимают древесные отходы – кора и лигнин. Древесная кора содержит основные элементы питания растений, которые в процессе минерализации переходят в доступные формы. Кора имеет кислую реакцию среды (рН 4,8-5,7), но отличается биологической активностью, содержит значительное количество бактерий и грибов. Лигнин – побочный продукт гидролизного производства, сыпучий материал темно-бурого цвета, похож на торф. Лигнин имеет кислую реакцию (рН 0,2-1), но при длительном хранении под воздействием атмосферных осадков рН увеличивается до 2-3. В 1 т лигнина содержится 0,5 кг азота, но калий практически отсутствует. Содержание органического вещества высокое (более 90%). Использовать древесную кору и лигнин в качестве удобрения в чистом виде не рекомендуется, но компостирование этих отходов с навозом, птичьим пометом и минераль-

ными удобрениями дает хорошие результаты и обеспечивает повышение урожайности зерновых культур.

3.5. Технология возделывания сельскохозяйственных культур на основе адаптивно-ландшафтного земледелия.

Традиционные системы земледелия, предусматривающие многократную обработку почвы, высокую распаханность склоновых и пойменных земель, обусловили развитие эрозии почв и способствовали проявлению таких нежелательных явлений, как снижение содержания гумуса в почве, ее подкисление, переуплотнение, засоление, загрязнение тяжелыми металлами и остатками пестицидов, что в конечном счете негативно сказывается на плодородии почв. По оценкам ФАО, вследствие нерационального использования земель в мире уже утрачено 50 млн. га пашни.

Агроландшафт – это исторически сложившаяся антропогенно трансформированная для сельскохозяйственного использования геосистема, формируемая с целью наиболее эффективной и экологически безопасной эксплуатации природных и антропогенных ресурсов для производства экономически и социально обусловленного количества и качества сельскохозяйственной продукции и создания социально-культурной и духовной среды для гармоничного развития личности.

Очевидно, что в основе формирования концепции современного агроландшафтоведения лежит синтез знаний в области земледелия, агроэкологии, почвоведения, землеустройства, географического ландшафтоведения, блока социологических и других наук.

Центральным технологическим звеном при формировании агроландшафтов являются адаптивно-ландшафтные системы земледелия. По отношению к агроландшафту, как к антропогенно обусловленной геосистеме, адаптивно-ландшафтные системы земледелия должны решать четыре основные группы задач:

- сохранение экологической стабильности агроландшафта;

- адекватная количественная и качественная компенсация отчуждаемых вещественно энергетических и информационных потоков;
- максимальное сохранение естественных механизмов функционирования и саморегулирования;
- обеспечение экономической и энергетической эффективности эксплуатации агроландшафта.

В связи с экологическим неблагополучием и низкой эффективностью сельскохозяйственного производства необходимы современные подходы к оптимизации использования сельскохозяйственных земель. Одним из важных направлений является биологизация технологии возделывания сельскохозяйственных культур в соответствии с ландшафтными особенностями и другими природными и экологическими условиями. Этим требованиям соответствует высокорентабельная адаптивно-ландшафтная система земледелия, которая включает взаимосвязанное и согласованное решение агрономических, экономических и организационных задач. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия достаточно четко сформулирована А.Н. Каштановым.

Адаптивно-ландшафтная система земледелия – это система использования земли, направленная на производство продукции с учетом экономических и материальных ресурсов и обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводства повышенного плодородия.

В концепции адаптивно-ландшафтного земледелия ставится задача совершенствования взаимодействия природных и хозяйственных систем. Базисным блоком в решении поставленной задачи выступает агроэкологическая оценка почв, которая производится на основе комплексного исследования всех компонентов природы. Методической основой является системный подход в сопоставлении требований растений и их адаптивных возможностей с фактическим состоянием агроландшафта и перспективой регулирования его свойств. Учение о почвенном плодородии, структуре почвенного покрова, о сельскохозяйственной типологии земель является научной базой для разработки системы адаптивно-ландшафтного земледелия.

В основе адаптивно-ландшафтной типизации земель лежит агроэкологический тип земель, т. е. территория, однородная по агроэкологическим требованиям возделывания сельскохозяйственной культуры или группы близких культур. Эта категория рассматривается как узловая с точки зрения адаптивного потенциала растений, природно-ресурсного потенциала и производственного потенциала товаропроизводителя.

Тип земель складывается из первичных структурных элементов - элементарных ареалов агроландшафта (ЭАА). Под ЭАА понимается участок на элементе мезорельефа, ограниченный элементарным почвенным ареалом (или элементарной почвенной структурой) при одинаковых геологических, литологических, гидрологических и других условиях.

Формирование типов земель осуществляется в технологическом контуре ЭАА, близких по экологическим требованиям возделывания сельскохозяйственных культур после их оценки в соответствии с агроэкологической классификацией земель с иерархией таксономических единиц: вид (ЭАА), род, разряд, класс, агроэкологическая группа (тип). В отличие от агропроизводственных групп почв (генетически близких разностей), агроэкологической классификацией полнее учтены свойства всех компонентов ландшафта.

Выделение агроэкологических групп земель осуществляется по ведущим агроэкологическим факторам, определяющим направлением их сельскохозяйственного использования (влагообеспеченность, переувлажнение, засоление, почвенный литогенез и др.). Агроэкологические группы земель могут разделяться на подгруппы по интенсивности проявления лимитирующих факторов. Применительно к типам почв разрабатываются пакеты технологий возделывания сельскохозяйственных культур, варианты севооборотов, определяются мелиоративные мероприятия.

В связи с многоукладностью сельскохозяйственного производства в условиях перехода к рыночной экономике, обострением экологических проблем на фоне большого количества землевладельцев, частной собственности на землю возрастает значение агроландшафтного подхода к разработке и со-

вершенствованию систем земледелия. Это значит, что они должны быть хорошо адаптированы к местным ландшафтам, отвечать требованиям экологической чистоты и создавать предпосылки для рационального использования земли и повышения почвенного плодородия, для получения высоких и устойчивых урожаев. Основопологающей становится задача формирования адаптивно-ландшафтного земледелия, тесно увязанного с ландшафтной экологией в конкретных почвенно-климатических условиях.

Разрабатывая и совершенствуя системы земледелия для каждого конкретного хозяйства, необходимо:

- обеспечить воспроизводство плодородия почв;
- усовершенствовать системы земледелия и агротехнологии, сделав их наименее затратными и высоко производительными, добиться экологической безопасности производства;
- повысить урожаи, валовые сборы с/х культур, сделать их стабильными;
- обеспечить должное качество с/х продукции;
- сохранить почву, водные ресурсы и ландшафты в целом от деградации и загрязнения.

Для борьбы с засухой и эрозией требуется увеличить облесенность территорий за счет формирования систем полезащитных насаждений. Основой устойчивости земледелия является правильное использование пашни с оптимальным количеством в севообороте паров, зерновых пропашных, культур и многолетних трав.

Длительное использование черноземов в Центральном Черноземье, при недостаточной культуре земледелия привела к существенному снижению плодородия. Негативным фактором является снижение содержания гумуса в пахотном слое почвы на 20-25%.

Для предотвращения дальнейшей деградации плодородия почвы, прежде всего необходимо обеспечить бездефицитный баланс содержания органического вещества. Это возможно экономично сделать только на основе биологизации земледелия (освоение плодосменных севооборотов, использование

соломы на удобрения, возделывание промышленных культур на зеленый корм и сидерацию).

Резкое падение численности скота количество способствовало снижению вносимой органики до 1,21 т/га, а применение минеральных удобрений сократилось в 10 раз, с 138,7 кг д.в. на 1 га в 1986-1990 гг. до 13,9 кг д.в. на 1 га в 1996-2000 гг.

В условиях дефицита навоза и компостов – главных видов органических удобрений – важными источниками органики могут стать солома озимых культур и сидераты в пару и в пожнивных посевах. Особенно эти источники органических удобрений важны сейчас в фермерских (крестьянских) хозяйствах, в которых мало скота и ограничен ассортимент культур.

В связи с этим при адаптивно-ландшафтной системе земледелия вводятся почвозащитные севообороты с безотвальной системой обработки почвы и ресурсосберегающие технологии возделывания культур.

Эрозия почв вызывается совокупным влиянием многих природных факторов и хозяйственной деятельности людей, к важнейшим среди которых надо отнести, в первую очередь, формирование стока талых вод, повышенную расчлененность рельефа, отсутствие растительности на пашне в течение длительного промежутка времени.

Отрицательное влияние на формирование стока талых вод оказывает ухудшение структуры почвы, вызванное многократными механическими обработками, увеличение массы техники, разрушение верхних, наиболее плодородных частей почвы, уменьшение содержания гумуса. Чем быстрее теряется гумус, тем хуже водопроницаемость и водозадерживающая способность почвы, тем больше сток талых вод и, следовательно, смыв почвы. Отсюда все противоэрозионные мероприятия должны быть направлены на задержание стока талых вод, а не на их отвод, отвод должен рассматриваться как крайняя мера.

Немаловажным фактором усиления эрозии почвы является расчлененность рельефа. Чем лучше почва противостоит смыву или лучше защищена растительностью, тем значение уклона меньше, а чем она рыхлее (при осенней обра-

ботке), и ее частицы способны легко отделяться, тем значение уклона выше. Не рекомендуется чистые пары и пропашные культуры размещать на сильно- и среднесмытых почвах и, наоборот, многолетние травы целесообразно использовать на смытых. Такое положение крайне важно для обоснования системы севооборотов, тесно увязанной с конкретными почвенными условиями. Озимые зерновые и многолетние травы при весеннем снеготаянии способствуют удлинению периода, тем самым уменьшают энергию потока, увеличивают впитывающую способность почвы. Это способствует всем сельскохозяйственным культурам создать большее проективное покрытие, смягчающее ударную силу капель в периоды ливней. На склонах процессы потери гумуса, питательных веществ и мощности гумусового горизонта идут значительно быстрее. Содержание гумуса и азота при этом уменьшается с увеличением их эродированности. Уменьшение содержания гумуса приводит к ухудшению структуры почвы и сокращению водопроницаемости и водоудерживающих свойств почвы. Обладая специфическим биотехнологическим свойством - плодородием — почва определяет здоровье ландшафтной системы земледелия. Однако почва в результате интенсификации производства не справляется с антропогенной нагрузкой, что влечет за собой усиление процессов деградации и потерю ее плодородия.

Организация территории пашни в условиях пересеченного рельефа заключается в комплексном и взаимосвязанном размещении ее основных элементов - полей, севооборотов, полезащитных и водорегулирующих лесных полос, в проведении соответствующей внутриполевой организации территории, в размещении полевых дорог, гидротехнических сооружений и т.д.

Ландшафтное разнообразие предполагает необходимость пакета технологий с дифференциацией их не только в соответствии со свойствами земель и требованиями растений, но и применительно к производственно-ресурсному потенциалу товаропроизводителей и формам организации труда. Совокупность агроэкологических факторов далее ранжируется с точки зрения их влияния на возделывание сельскохозяйственных культур и возможности их преодоления.

В условиях адаптивного растениеводства разрабатываются интегрированные системы защиты растений от вредных объектов с минимальной экологической, токсической нагрузкой на почву, растение, энтомофагов, животных и человека. Они включают агротехнические, биологические и химические мероприятия с использованием нового поколения пестицидов.

Важное звено интегрированной системы защиты - обработка семян сельскохозяйственных культур протравителями. Это один из выгодных и экологически безопасных способов защиты растений.

Для преодоления резистентности (приспособляемости) вредных объектов, повышения биологической эффективности препаратов нужно применять и чередовать различные классы (группы) пестицидов. Новая технология комплексного применения средств защиты растений и удобрений включает три основных процесса:

- протравливание семян;
- применение баковых смесей аммиачной селитры с одним из гербицидов и инсектицидов в фазе кущения озимой пшеницы;
- применение баковых смесей аммиачной селитры с одним из фунгицидов и инсектицидов в фазе стеблевания-колошения.

Протравливание защищает семена, проростки, растения от возбудителей грибных заболеваний: твердой и пыльной головни, снежной плесени, мучнистой росы, септориоза и др. Перед протравливанием делается микологический анализ на степень зараженности семян грибными заболеваниями. Вредоносность снежной плесени можно определить весной после таяния снега (ЭПВ развития болезни 20%), мучнистой росы и септориоза - в фазу выхода в трубку - появления флагового листа (ЭПВ развития болезни 5%).

Раздел 4. Энергосберегающие и экологически безопасные мероприятия по повышению плодородия мелиорируемых и эродлируемых почв

4.1. Культуртехнические мероприятия.

В гумидной зоне России в больших масштабах происходит вторичное зарастание кустарником, заболачивание и падение продуктивности сельскохозяйственных угодий. 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 мелкоконтуриности, удалением выпавшихся камней, ликвидацией вторичного уплотнения подпахотного горизонта, планировкой и выравниванием поверхности длиннобазовыми 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 рабо-

там. 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;
- измельчением кустарника на месте и перемешиванием его с почвой.

Срезку древесно-кустарниковой растительности целесообразно проводить зимой при промерзании почвы на глубину более 15 см и высоте снежного покрова до 50 см, благодаря чему облегчается проведение работ, особенно на переувлажненных почвах. Эта технология основана на применении кусторезов пассивного типа. Для срезки крупных деревьев используют валочно-пакетирующие машины.

На болотах и заболоченных почвах качественную срезку кустарника и мелкокося обеспечивает машина МТП-13 на базе экскаватора МТП-71 с активным рабочим органом в виде дисковой фрезы, которая проводит сплошную срезку деревьев до 25 см и кустарника, формирование из срезанной древесины пакетов и их укладку вдоль трассы движения. Срезанную древесину сгребают в кучи, а затем вывозят для утилизации. Оставшиеся пни и погребенную древесину корчуют корчевальной бороной или роторными корчевателями. При этом до начала работы необходимо с помощью корчевателей удалить пни диаметром более 15 см и камни размером более 30 см.

Корчевание древесной растительности и пней выполняют корчевателями-собирающими и корчевальными машинами. Для корчевания лесокустарника диаметром до 15 см на легких почвах применяют корчевальные бороны. При наличии мелких пней и небольших камней (до 20 см) и древесной растительности диаметром до 10 см используют роторные корчеватели. За один проход они корчуют растительность, очищают корни от земли, засыпают прикорневые ямы, рыхлят дернину, укладывают древесину в валок. Образовавшиеся при корчевании крупных пней воронки засыпают бульдозерами.

Технологический процесс вычесывания кустарника корчевальной бороной выполняется обычно челночным способом. Прочесанному корчевальной бо-

роной участку дают возможность просохнуть в течение 2-4 недель, после чего приступают к сбору ДКР в валы и кучи корчевателем-собирателем, кустарниковыми граблями или собирателями-погрузчиками. Временной интервал между вычесыванием и сгребанием или сбором необходим для просыхания почвы на корнях кустарника и качественной сепарации почвенного слоя от пней. Этим достигается снижение в 2-3 раза объема сгребаемой вместе с ДКР в валы и кучи почвы.

Для восстановления вторично заросших кустарниковой растительностью земель используются машины с активным рабочим органом: фрезерный кусторез КФ-2,8, измельчитель кустарника ИК-1,8. Кусторез КФ-2,8 предназначен для срезания кустарниковой растительности диаметром до 10 см при освоении земель и улучшении лугов и пастбищ.

Фрезерный кусторез за один проход обеспечивает срезание растительности с диаметром стволов от 2 до 12 см с полнотой срезания 95-97%. Срезанная кустарниковая растительность собирается кустарниковыми граблями или корчевателями-собирающими. Собирающие-погрузчики сгребают древесину, транспортируют ее к месту складирования и компактно ее укладывают в кучи или грузят в транспортные средства. Технология, основанная на применении собирателей-погрузчиков для сбора и перемещения выкорчеванного кустарника и мелколеся позволяет сохранить 90-95% почвенного плодородия на месте.

Пни и корни вычесывают корчевальными боронами в зависимости от количества пней на участке, корчевание производят в 2-3 следа. Сгребание выкорчеванных пней и корней производят через 7-15 дней после окончания корчевки. Сгребание производят собирателями-погрузчиками, кустарниковыми граблями.

Технологическая схема освоения закустаренных земель с применением фрезерного кустореза КФ-2,8 завершается планировкой и первичной обработкой почвы. Первичную обработку почвы целесообразно проводить дисковой мелиоративной бороной БМН-2,5 или БДМ-2,5М с последующей разделкой пласта в 2-3 прохода бороной БДТ-3,0 или БДТ-7,0.

На лугах и пастбищах, заросших мелким редким кустарником, целесообразно применять роторный измельчитель кустарника ИК-1,8. Измельчитель кустарника перерабатывает наземную часть живорастущего кустарника на фракции до 20 см, которыми мульчируется поверхность (степень покрытия площади кустарником до 30%. Кустарник различных пород с наибольшим диаметром стволов 8 см в количестве до 30 тыс. штук на га). Осваиваемые площади должны быть свободными от крупных пней, деревьев более 8 см и поверхностных камней. Измельчитель кустарника движется со скоростью 300 м/ч, пригибая, срезая и измельчая при этом растущий кустарник. За один проход он измельчает растительность с диаметром стволов до 5 см на отрезки размером до 20 см. Чистота срезания составляет 96-98%. Более крупная кустарниковая растительность измельчается машиной за два прохода.

Для заделки древесных остатков в почву целесообразно использовать дисковую мелиоративную борону БДМ-2,5М или БМН-2,5, которая заделывает их на глубину 25-30 см. Разделка пласта и выравнивание поверхности производится тяжелой дисковой бороной за два-три прохода. Измельчение кустарниковой растительности с применением измельчителя кустарника ИК-1,8 целесообразно проводить в летнее время. Древесные остатки необходимо оставить на 3-5 дней на поверхности участка, не заделывая их в почву, чтобы они утратили свою вегетационную способность, и только после этого заделывать их в почву мелиоративной бороной или плугами, или оставить на поверхности участка в качестве мульчи.

Дисковая мелиоративная борона БМН-2,5 может быть применена при ускоренном восстановлении вторично заросших мелким кустарником земель с его измельчением и заделкой под пласт.

Для освоения земель, поросших кустарником и мелколесьем, используются современные технологии с измельчением древесины мелкого и среднего кустарника и заделкой ее в почву: корчевка (МП-12 на Т-130), фрезерование (МТП-44А), вспашка (ПБН-100А), прикатывание (3-КВБ-1,5). Запашка кустарника применяется на торфяных и минеральных землях, если в его составе от-

сутствуют ива, верба, тополь, которые размножаются черенками, и при толщине гумусового слоя не менее 20 см. Запашку кустарника производят однокорпусными болотными плугами (ПБН-75, ПБН-100А) при диаметре его до 8 см и высоте до 5 м. При этом мощность гумусового горизонта или торфа должны быть меньше глубины запашки не более чем на 5 см. В течение 3—4 лет, до полного разложения древесной массы, почву с запаханным кустарником обрабатывают поверхностно, без вспашки.

Измельчение кустарника сплошным глубоким фрезерованием почвы применяют на торфяниках (редко на минеральных почвах), покрытых кустарником диаметром до 12 см и кочками, при наличии погребенной древесины и пней диаметром до 20 см. Фрезерование густого крупного кустарника со степенью покрытия площади более 60% целесообразно сочетать с предварительной срезкой наземной части растительности и уборкой ее в зимнее время. Высота пней после срезки растительности не должна превышать 5 см над поверхностью почвы. Для этого используют кустарниковые фрезы МТП-42А, МТП-44А и ФКН-1,7. Перед фрезерованием необходимо удалить с участка камни, деревья диаметром более 12 см и пни диаметром более 20 см.

Сущность способа освоения с применением фрезерных машин состоит в том, что все работы по удалению древесной растительности заменяются одной операцией - сплошным фрезерованием верхнего слоя торфа на глубину до 40 см вместе с наземной древесиной и корнями с одновременным перемешиванием и прикатыванием фрезерованной массы. После фрезерования не требуется дополнительная обработка почвы.

Технология освоения тех же земель с использованием зимнего фрезерования древесины включает следующие операции: корчевка (МП-15), подбор древесины, погрузка, отвозка древесины, вспашка, разделка пласта, вычесывание древесины (К-62,5 на МТЗ-82), подборка древесины (МП-2А), погрузка, отвозка, дискование, планировка (рельсовая волокуша), прикатывание.

Освоение земель из-под крупного кустарника состоит в следующем: срезка (МП-14), подборка и транспортировка (ЛП-23), измельчение на щепу (ТТ-

1000ТУ на Т-150), отвозка щепы (2ПТС-4), корчевка, подборка, погрузка, отвозка, вспашка, разделка пласта, планировка, прикатывание.

При использовании валочно-пакетирующих машин и других средств лесного хозяйства рекомендована технология при освоении земель из-под леса и кустарника: валка деревьев (бензопила) или их срезка (МП-26), подборка и транспортировка (ЛП-23), измельчение на щепу (ТТ-1000ТУ), отвозка щепы (2ПТС-4), корчевка роторным корчевателем (МП-12), подборка, погрузка, отвозка, вспашка, разделка пласта, планировка, прикатывание.

При культуртехнических работах образуются валы и кучи из собранной древесины, занимающие до 10% площади. Валы ликвидируют путем вывозки или закапывания древесины. Сжигание на месте не рекомендуется в связи с потерей большого количества органики. Вывозка оставшейся древесины проводится гусеничными тракторами. Разработана технология фрезерования валов машиной ФБН-1,5. Новые технологии по сведению кустарника предусматривают утилизацию древесины путем переработки на технологическую щепу, а пни могут использоваться на другие цели. Сравнительная эффективность раздельной корчевки и измельчения древесины свидетельствует о преимуществе измельчения древесины.

При освоении и эксплуатации земель большое внимание уделяется их окультуриванию. Оно включает в себя первичную и последующие обработки почвы, известкование кислых почв, фосфаритование, внесение органических и минеральных удобрений, обеспечивающих создание мощного, плодородного пахотного слоя. Процесс окультуривания продолжается от одного до шести лет.

На осваиваемых землях система удобрений предусматривает восстановление плодородия почв, нарушенного в процессе проведения мелиоративных и культуртехнических мероприятий, а также повышение эффективности почвенного плодородия. Во все вновь осваиваемые минеральные почвы после проведения культуртехнических работ в первую очередь вносят органические удобрения, а на торфяные почвы – микроудобрения.

Важнейшей операцией при окультуривании является первичная обработка почвы. Отличают первичную обработку вновь осваиваемых и эксплуатационную обработку мелиорируемых земель.

К первичной обработке почвы предъявляют следующие требования: соответствие глубины обработки мощности гумусового слоя, глубокая заделка травянистой растительности и удовлетворительное крошение пласта. Наиболее распространенный в настоящее время способ первичной обработки - вспашка кустарниково-болотными плугами с последующей разделкой пластов тяжелыми дисковыми боронами в несколько следов. На задернелых почвах дернину перед вспашкой обрабатывают в два следа тяжелой дисковой бороной в перпендикулярных направлениях. В последние 10-15 лет весьма широкое распространение при первичной и эксплуатационной обработке почвы получили тяжелые дисковые мелиоративные бороны.

Основными способами эксплуатационной обработки почвы являются отвальная вспашка и безотвальное рыхление. Безотвальное рыхление применяется на почвах с небольшой мощностью гумусового слоя и проводится лемешными плугами со снятыми отвалами или дисковыми плугами. Для эксплуатационной обработки мелиорируемых земель применяют плуги общего и специального назначения.

4.2. 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 кон-

кретными 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, противofiltrационные 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.

По данным мелиоративного кадастра на 01.01.2005 г. в России имелось 4,6 млн. га орошаемых и 4,4 млн. га осушаемых земель.

Интенсивное развитие мелиорации развернуто с середины 1990 г. К 1990 г площадь орошаемых земель в России составила 6,2 млн. га, из которых 3,9 млн. га было в засушливой зоне России. Оросительные системы имели довольно высокий технологический уровень. Продуктивность орошаемого гектара в целом

по России составляла 4,2-4,6 тонны кормовых единиц. Поливной гектар по продуктивности в среднем был эквивалентен 3-4 гектарам неорошаемых земель.

За годы реформ площадь орошаемых земель в России заметно сократилась. При этом резко ухудшилось техническое состояние мелиоративных систем. Большие площади сохранившихся орошаемых земель находятся в неудовлетворительном мелиоративном состоянии. На площади более 1700 тыс. га необходимо осуществить комплексную реконструкцию оросительных систем. Основной причиной спада явилось резкое сокращение средств федерального бюджета на мелиорацию.

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.

Помимо многолетних бобовых трав приоритетными на орошаемых землях остаются овощные, ранний картофель, кукуруза на зерно и силос, суданская трава, сорго, смеси теплолюбивых (подсолнечниково-суданская и др.) и холодостойких (бобово-капустно-мятликовые) культур. Часть орошаемой площади можно занимать зерновыми колосовыми, преимущественно семеноводческими посевами. В правильных севооборотах возрастает эффект нормированного орошения и применения удобрений, прогрессивных способов обработки поля, борьбы с сорняками, предупреждения засоления, заболачивания и других звеньев системы земледелия.

Особая роль в повышении плодородия орошаемых почв отводится люцерне: при урожае сена 8-10 т она оставляет в почве 4 т/га свежего органического

вещества. При значительном повышении урожайности орошаемых культур одновременно увеличивается и поступление органического вещества в почву, причем если урожай основной продукции поливных культур возрастает в 2,5-3 раза, то они оставляют в почве в 5-6 раз больше органического вещества, чем неполивные культуры. Благодаря этому орошаемые земли содержат больше гумуса, чем неорошаемые.

Для улучшения микроклимата орошаемого поля проводится создание полезных 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. Расположенные вдоль постоянных каналов лесные насаждения перехватывают фильтрационные и поглощают грунтовые воды, понижая их уровень. Выполняя роль глубокого биологического дренажа, лесонасаждения препятствуют засолению и заболачиванию почвы. На орошаемом поле урожайность культур под защитой лесных полос повышается, озимой пшеницы на 0,73 т/га, кукурузы на зерно на 0,48 т/га и на силос на 6,25 т/га, риса на 0,28 т/га. На плодородие почвы и эффективность орошения оказывают большое влияние удобрения. Систематическое внесение удобрений увеличивает количество подвижных форм питательных веществ в почве, а применение органических удобрений – еще и содержание гумуса и структурных агрегатов, улучшает ее водно-физические свойства и поглонительную способность, снижает кислотность, активизирует деятельность почвенных микроорганизмов. При орошении возрастает растворимость удобрений без заметного повышения концентрации почвенного раствора, что способствует лучшей усвояемости питательных веществ растениями. Усиливается минерализация органического вещества, возрастает вынос питательных элементов урожаем. Почва периодически обогащается органическими и минеральными удобрениями, большой массой пожнивных и корневых остатков, поэтому с ростом урожайности культур повышается и плодородие орошаемых почв.

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 урожаев – 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. Оно позволяет в наибольшей степени использовать потенциальные возможности каждого поля, сорта, гибрида, интенсифицировать технологические процессы и повысить продуктивность труда.

Освоение технологии программированного выращивания сельскохозяйственных культур включает следующие этапы:

1. Предварительный расчет потенциальной продуктивности культуры, т.е. максимально возможного, экономически целесообразного урожая;
2. Разработка программы, согласно которой рассчитывают математическую модель формирования урожая при соответствующем тщательном соблюдении всех технологических операций;

3. Управление формированием урожая по этапам органогенеза на основе получаемой с поля информации.

Цель управления – с помощью орошения, удобрения, ухода за посевами и других агроприемов сформировать урожай по заранее намеченной программе.

Для получения урожаев на запрограммированном уровне следует своевременно и в оптимальном сочетании обеспечить растения, в первую очередь, элементами питания и водой.

Контроль и управление ходом формирования урожая наиболее точно и оперативно обеспечиваются с помощью ЭВМ, в память которых заложена математическая модель формирования урожая.

В засушливых районах орошение сильно изменяет водный, питательный, воздушный и тепловой режимы растений. Улучшается фракционный состав воды в растениях: повышается содержание общей и свободной влаги, снижается отношение связанной и свободной, и в целом повышается плодородие почв. Однако нарушение режима орошения, несоблюдение способов и техники полива и водопользования приводит к деградационным процессам орошаемых почв. Это вызвано, в первую очередь, применением обильных поливов, завышением поливных и оросительных норм.

Переход на малообъемное орошение позволяет существенно сократить затраты оросительной воды, улучшить мелиоративное состояние земель и повысить плодородие орошаемых почв. В аридных условиях наиболее эффективным способом орошения сельскохозяйственных культур является канальное орошение. В последнее время наряду с мелкодисперсным дождеванием используется технология малообъемного дождевания. Она применяется для орошения сельскохозяйственных культур в регионах обычного и мелкодисперсного дождевания при двукратном ежегодном опрыскивании сельскохозяйственных растений на полях со спокойным рельефом и уклонами местности, позволяющими обеспечить нормальную работу широкозахватных машин.

В аридной зоне в условиях агроирригационного ландшафта формируются культурно-поливные почвы, которые обладают высоким плодородием, благо-

приятными физическими свойствами. Они отличаются высокими и равномерными по профилю значениями порозности и водопроницаемости. Однако в последние десятилетия сток на реках был зарегулирован каскадами плотин. И на полив идет более подогретая вода со значительно меньшим содержанием твердых частиц. Осветленные воды, поступающие на орошаемые поля, не оставляют на них столь значительной массы наилка, как прежде. Они содержат лишь очень тонкие, преимущественно коллоидальные, частицы, образующие лишь малозаметные, незначительные илистые пленки на поверхности агрегатов. Формирующиеся в этих условиях орошаемые почвы будут отличаться менее благоприятными физическими свойствами, повышенной плотностью, невысокой или низкой водопроницаемостью. В меньшей мере такие почвы будут обеспечены и элементами питания. Таким образом, изменение гидротехнических решений в зоне орошения приведет к изменению свойств орошаемых почв.

Существенное влияние на формирование почв оказывает дренаж. Он снижает уровень грунтовых вод на орошаемом массиве, опресняет поверхностный горизонт почв и создает необходимые условия для формирования плодородных почв.

Нередко при обеспеченном дренаже в горизонтах почвенного профиля возникают зоны плотных карбонатных цементаций. Эти новообразования резко ухудшают физические свойства орошаемых сероземов. В последние годы для увеличения мощности активного слоя и ликвидации вторичных водоупоров на орошаемых почвах применяют глубокое мелиоративное рыхление в сочетании с внесением повышенных доз органических удобрений.

Однако применение тех или иных способов орошения, рациональное управление почвенным плодородием должны опираться на тщательный анализ всех статей водно-солевого баланса, формирующегося в условиях применения конкретных способов орошения и дренажа.

Несомненно, дренаж обеспечивает возможность мелиорации засоленных почв и защищает орошаемые массивы от угрозы вторичного засоления. Однако

одновременно он усиливает и опасность экологической деградации территории в условиях орошаемого земледелия, поскольку дренажный сток транспортирует в водоприемник значительные массы водорастворимых солей и токсических веществ. Поэтому следует свести к минимальным значениям общий объем дренажного минерализованного стока с оросительных систем. Эта задача может быть решена в результате снижения поливных и оросительных норм.

Значительную роль в орошаемом земледелии южных районов страны приобретает культура риса, возделываемая в условиях длительного затопления. Благоприятные условия в орошаемых черноземных и каштановых почвах, используемых под культуру риса, можно создать на фоне дренажа, внесения органических удобрений, небольших доз гипса и активной аэрации глубоких горизонтов почвенного профиля с помощью кротования и глубокого рыхления. Эти мероприятия по дренированию, кротованию, глубокому рыхлению и введение травопольных севооборотов с участием люцерны необходимы еще и потому, что почвы под рисом должны активно проветриваться для окисления возникающих при затоплении токсичных соединений закисного железа, марганца, а также сероводорода, водорода, метана, аммиака и др.

Бездренажное орошение является причиной быстрого осолонцевания почв, их интенсивного поверхностного уплотнения, слитизации и, часто, оглеения. В поверхностных слоях почвенного профиля возникает элювиальный, часто осветленный горизонт с кислой реакцией. Профилактика этого опасного явления связана с необходимостью исключения причин возникновения процесса гелеобразования в условиях пульсирующего режима, т.е. устранения переполивов, внесения в почву извести, гипса, улучшения физических свойств почв путем введения травопольного орошаемого земледелия, устранения факторов уплотнения почв и др.

При орошении почв не рекомендуется использовать тяжелую колесную обрабатывающую и уборочную технику с высоким удельным давлением. Уплотнение орошаемых почв в результате применения такой техники сопровождается снижением их водопроницаемости.

На осушаемых землях отмечается резкое увеличение поверхностного стока, его аккумуляция в низинах, депрессии и локальные понижения. Эти явления вызывают перегрузку дренажа, вымокание культур и другие неблагоприятные последствия.

Известны сведения и о том, что дождевание осушенных торфяных почв при глубоком залегании грунтовых вод вызывает интенсификацию микробиологической активности и ускоренную сработку торфа.

Орошение почв в гумидной зоне связано с проведением планировочных работ, там где почвы имеют весьма незначительный гумусовый горизонт, эти мероприятия могут осуществляться только при условии непрямого восстановления их утраченного плодородия.

В гумидной зоне осушительные мелиорации направлены на улучшение сельскохозяйственных угодий, на преобразование переувлажненных земель в плодородные почвы, на которых можно получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Переувлажненные земли по покровным отложениям разделены на два типа: торфяники и минеральные почвы. В процессе осушения создается оптимальный водно-воздушный режим почвы, который характеризуется такими показателями, как аэрация и влажность почвы, допустимая продолжительность затопления почвы, норма осушения, критическая глубина залегания грунтовых вод.

Известно, что осушительные мелиорации отрицательно воздействуют на прилегающие территории и экологическую обстановку в целом. Это связано, прежде всего, с еще низким качеством проектирования и строительства мелиоративных систем, недостаточным экологическим обоснованием размещения объектов мелиорации.

Для устранения или ослабления отрицательного последствия осушительных мелиораций осуществляется ряд эффективных мероприятий: реконструкция и создание технически и экологически совершенных осушительных систем, устройство систематического материального дренажа, строительство системы с двухсторонним регулированием водного режима.

Все это будет способствовать значительному снижению и устранению отрицательного влияния осушительной мелиорации на окружающую среду. Неправильное применение тех или иных агротехнических приемов, нарушение рекомендованных технологий также может привести к отрицательным последствиям, например, к загрязнению рек и водоемов. Современные научные разработки по системе земледелия на осушенных землях позволяют без существенного вреда для окружающей среды эффективно использовать эти земли.

Создание оптимального водного режима для растений является важнейшей основой эффективности других агротехнических мероприятий. Для формирования 1 т урожая многолетних трав (в расчете на сено) используют 400-700 м³ воды, картофеля – 62-96, кукурузы (зеленая масса) – 32-50, сахарной свеклы – 60-130, моркови столовой – 40-75, капусты поздней – 50-90, зерновых культур – 350-600 м³. Естественно, и глубина залегания уровней подгрунтовых вод при выращивании тех или иных культур должна быть различной. Так, на торфяных почвах хорошие условия для роста и развития однолетних культур создаются при поддержании влажности пахотного слоя почвы на протяжении вегетации в пределах 60-75% полной влагоемкости и уровня грунтовых вод: во время предпосевной обработки и сева – 60-70 см от поверхности почвы, от появления всходов до начала максимального прироста растений – 70-90 см и до уборки урожая – 90-120 см. Для многолетних трав уровень грунтовых вод в течение вегетации не должен опускаться ниже 75-90 см, а в период сева – 50-60 см от поверхности почвы.

Глубокое рыхление почвы улучшает ее структуру, плотность, водопроницаемость, водный, воздушный, химический режимы.

На кислых тяжелых почвах одновременно с глубоким мелиоративным рыхлением необходимо известкование и внесение высоких доз органических и минеральных удобрений. Разрушение прослоек не связано с известкованием и удобрениями. На карбонатных почвах при глубоком рыхлении требуется внесение удобрений.

В весенний предпосевной период на торфяных почвах уровень грунтовых вод не должен опускаться ниже 70 см, так как высота капиллярного поднятия влаги здесь составляет 60-70 см. Это может привести к пересыханию верхнего слоя почвы, распылению его и возникновению ветровой эрозии.

На осушенных минеральных почвах грунтовые воды в течение вегетационного периода должны залегать от поверхности не ближе: под зерновыми и силосными культурами на супесчаных почвах – 55-60 см, на суглинистых и глинистых – 70-80 см, под картофелем и корнеплодами - соответственно 60-80 см и 80-100, под многолетними травами на сено – 50-60 см и 60-70 см.

Важным агромелиоративным приемом по регулированию водного режима осушенных земель является кротовый дренаж, применяемый обычно осенью, когда уровень грунтовых вод опускается до 1 м и ниже, а поля освобождены от урожая. Закладывают его на глубине 80-90 см каждые 2-3 года на средних и глубоких торфяниках. Там, где глубина залегания торфа составляет 40-50 см и меньше, его проводить нецелесообразно. На таких площадях, а также на минеральных переувлажненных почвах применяют гончарный дренаж и проводят дождевание в засушливые периоды вегетации. Но наиболее совершенным способом улучшения мелиоративного состояния таких почв является комбинированная осушительная система. Она включает гончарный или пластмассовый дренаж в сочетании с кротовым и комплекс агромелиоративных приемов - глубокое рыхление оглеенных почв на глубину 45-60 см через каждые 3-4 года, узкозагонную вспашку, а в районах с избыточным увлажнением - и поверхностное бороздование, посадку культур на гребнях.

Почвы, продолжительное время затапливаемые весенними водами, а также луговые целесообразно вводить в кормовые и сенокосно-пастбищные севообороты. Неглубокие торфяники со слоем торфа до 50-60 см, сильно минерализованные, подверженные ветровой эрозии, необходимо занимать под культурные сенокосы и пастбища, а среднемощные и мощные торфяники - под кормовые и кормово-овощные севообороты.

Чтобы поддерживать на высоком уровне плодородие торфяных почв, избежать непроизводительных потерь органического вещества, севообороты должны быть максимально насыщены многолетними травами – 50-100% севооборотной площади. На почвах с недостаточно разложившимся торфом однолетние культуры могут занимать 45-50% площади, в том числе пропашные – 25-30%, на хорошо окультуренных торфяных почвах посевы их не должны превышать 40% севооборотной площади, в том числе пропашных – 20%.

Промежуточные культуры в специализированных севооборотах не только повышают продуктивность земель, но играют также важную санитарную роль. В качестве промежуточных на осушенных землях можно использовать посевы горохоовсяной смеси, озимой ржи, озимого рапса, редьки масличной, с которых получают 30,0-45,0 т/га высококачественной зеленой массы. Химическая мелиорация здесь несколько эффективнее. Оптимальная норма извести на этих землях - 1,5 по гидролитической кислотности, причем наивысший эффект получают лишь при сочетании с навозом и минеральными удобрениями. При повторном известковании земель расчет доз извести следует проводить на 0,5 гидролитической кислотности. Органические удобрения на осушенных минеральных почвах следует вносить в норме не менее 18-20 т/га пашни.

Под влиянием осушения возможно понижение уровней грунтовых вод на прилегающей к осушительной системе территории. В пределах этой зоны предусматривают необходимую трансформацию угодий, почв и водозащитные мероприятия.

В целом правильно запроектированные и построенные мелиоративные системы, на которых поддерживается высокая культура земледелия, значительно улучшают агроландшафты, а на осушаемых почвах поддерживается плодородие.

4.3. Сохранение плодородия почв, подверженных эрозионным процессам.

Водная эрозия и дефляция (ветровая эрозия почв) – одни из основных видов деградации, которые характеризуются разрушением и истощением почвен-

ного 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.

По данным государственного учета, в 2004 г. общая площадь эродированных, дефлированных, эрозионно- и дефляционноопасных сельскохозяйственных угодий составляла 130 млн. га, в том числе пашни - 84,8 млн. га, пастбищ - 28,7 млн. га.

В лесной зоне европейской части РФ, где зимой накапливается достаточно большой запас снега, преобладает эрозия талыми водами. В лесостепных районах наблюдается эрозия талыми и ливневыми водами весной и летом. В степных районах юга европейской части преобладает смыв почвы, вызываемый ливнями. Для южных районов Западной Сибири характерны дефляция и эрозия талыми водами. В Нижнем Поволжье и Предкавказье ветры являются главным фактором деградации почв. К зоне ливневой эрозии можно отнести большинство районов Северного Кавказа и юга Дальнего Востока. Более половины (52%) эродированных площадей и эрозионноопасных сельскохозяйственных угодий обусловлено процессами дефляции.

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 лесокус-

тарниковой растительности, а также рельеф местности: крутизна и длина склонов, их форма. Как правило, при крутизне склонов $1,5-2^\circ$ 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.

В районах с водной эрозией в зависимости от крутизны склона, степени эродированности почвы и других условий применяют вспашку поперек склона, контурную обработку почвы, глубокую безотвальную вспашку с оставлением стерни на поверхности, вспашку с почвоуглубителем, вспашку с обвалованием,

бороздование, комбинированную и ступенчатую вспашку, лункование, щелевание, кротование, террасирование валами с широким основанием и другие приемы противоэрозионной обработки 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. Каждая из них (также поперек склона) разделяется на две полосы. Полосы занимаются разными культурами попеременно, причем одно из полей обязательно должно быть занято культурой, стойкой к эрозии. Ширина полос может быть от 20 до 50 м. При полосных посевах потоки текущей воды на почве значительно ослабевают. При контурной обработке борозды будут задерживать всю воду осадков или значительную часть ее. В районах избыточного увлажнения, а также в местностях, где часто выпадают сильные ливни, направления гребней, борозд и полос должны немного (на $0,1-0,2^\circ$) отклоняться от горизонталей. Такое отклонение позволяет избытку воды стекать в ближайшую задернованную часть балки или ложбины или же в специально созданный залуженный водосброс. Обработка почвы по горизонталям является необходимой составной частью эффективной борьбы с эрозией на пахотных землях. Преградой стока могут служить валики высотой около 25 см, сделанные осенью по зяби плугом с удлиненным отвалом.

Для задержания талых вод более эффективным приемом является террасирование валами с широким основанием. Валы создаются по горизонталям при помощи грейдера или же путем вспашки в свал плантажным плугом. Они по форме низкие, но широкие (высота в 20-40 см при ширине у основания, в 5-7 раз превышающей высоту), это позволяет проводить все сельскохозяйствен-

ные работы, не нарушая земляных валов. Обработка террасированного поля производится параллельно гребню вала.

Валы с широким основанием бывают двух видов: горизонтальные и наклонные. Первые используются в засушливых районах и рассчитаны на задержание всей текущей воды.

Наклонные валы хороши для районов с избыточным увлажнением. Они устраиваются с незначительным уклоном вдоль вала.

Все мероприятия, направленные на борьбу со стоком и смывом, не защищают почву от разрушения под действием удара дождевой капли. Введение в севооборот достаточного количества полей многолетних трав и мульчирование охраняют почву как от текущих вод, так и от ударов дождевых капель, а мульча, кроме того, уменьшает испарение с поверхности земли. Мульчирование является очень ценным противоэрозионным мероприятием. В связи с трудностью доставки большого количества (4—6 т/га) мульчи на поле, предложено мульчировать стерней.

Важное значение в регулировании стока при борьбе с водной эрозией придается посеву буферных полос. В полосах высевают многолетние травы и культуры сплошного посева.

Полосы должны быть направлены поперек склона, еще лучше — по горизонталям. Буферные полосы распыляют струи потоков и этим ослабляют смыв почвы. Применение защитных лесных полос — важный фактор сохранения почвы. Искусственные насаждения древесных и кустарниковых пород в степи и лесостепи высаживаются в виде полос шириной от 10 до 60 м. Полосы располагаются или поперек склона (водорегулирующие лесополосы), или перпендикулярно основному направлению ветра (ветрозащитные лесные полосы) и состоят из нескольких рядов деревьев и кустарников. Лесные полосы способствуют более или менее равномерному распределению снега на межполосных участках, предохраняют почву от смыва. Водорегулирующие лесные полосы перехватывают сток с расположенного выше участка склона. Они должны быть расположены поперек склона и защищать пашни и

от суховеев. Расстояние между лесными полосами принимается равным 20-30-кратной высоте лесной полосы. При таком большом расстоянии лесные полосы не обеспечивают равномерного снегозадержания на всем межполосном пространстве. Поэтому и на территории, защищенной от эрозии лесными полосами, проводятся агротехнические мероприятия по снегозадержанию, регулированию таяния снега и стока талых вод.

Только в широких полосах создаются условия для образования лесной подстилки, в результате чего уменьшается глубина промерзания почвы, усиливается деятельность дождевых червей. В результате улучшается водопроницаемость почвы, уменьшается поверхностный сток и смыв почвы. Поэтому ширина водорегулирующих лесных полос должна быть от 20 до 60 м. Ветрозащитное значение лесных полос достигается при ширине полос в 10—20 м.

В засушливых районах высокоэффективным приемом защиты почв от водной и ветровой эрозии является снегозадержание и регулирование снеготаяния, посев высокостебельных растений для создания кулис.

При глубокой поперечной вспашке повышается водопроницаемость и влагоемкость почв, накапливается больше влаги в почве, уменьшается ее смыв и увеличивается урожайность зерновых культур. Эффективный прием в борьбе с водной эрозией — чередование вспашки на глубину 30-32 см (если позволяет гумусовый горизонте обычной на 20-22 см. Это улучшает структуру и строение почвы, создает большую противозерозионную устойчивость пахотного слоя почвы. Хорошо предотвращает сток и эрозию глубокая безотвальная обработка почвы на глубину 27-32 см поперек склонов или вспашка обычными плугами со снятыми отвалами и оставлением стерни на поверхности поля.

Для задержания стока талых вод применяют бороздование зяби поперек склона плугами с одним снятым отвалом. Борозды задерживают талые и дождевые воды, которые впитываются в почву. Глубина борозд, расположенных на вспаханном поле, 25-30 см, расстояние между ними 4-10 м.

Для регулирования поверхностного стока талых вод эффективным приемом является щелевание с использованием щелерезов, глубокихрыхлителей или чизелей, оборудованных долотами. Щели нарезают через каждые 80-150 см, ширина их 3-5 см, глубина до 60 см. По таким щелям талые и ливневые воды хорошо проникают в нижние слои почвы.

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 $2-3^\circ$, регулирование поверхностного стока возможно простейшими агротехническими мероприятиями: глубокой вспашкой, вспашкой и рядовым посевом поперек склона и др.

Слабо- и среднесмытые почвы, расположенные на средне- и сильнопокатых элементах рельефа с крутизной склона от 3 до 4° , нуждаются в проведении поверхностного бороздования, лункования, устройства водоотводных борозд, комбинированной или ступенчатой комбинированной вспашке поперек склона и др.

Почвы, подверженные сильной эрозии (среднесмытые почвы), расположены на элементах рельефа с крутизной склона $4-5^\circ$ и более. Для прекращения эрозии на этих почвах необходима специальная организация территории: разбивка буферных полос, полосное земледелие, почвозащитные севообороты, а также применение щелевания или кротования. Земли этой категории можно использовать в специальных почвозащитных севооборотах с многолетними травами, под виноградники и сады.

Почвы, подверженные очень сильной эрозии (средне- и сильносмытые), как правило, расположены на очень крутых элементах рельефа с крутизной склона $7-8^\circ$ и более. Такие земли непригодны для постоянного возделывания

полевых культур, но их можно использовать под сенокосы и пастбища, или выделить в почвозащитный севооборот.

В степных районах кроме водной эрозии проявляется ветровая эрозия. Основная причина ветровой эрозии — несовершенная обработка почвы.

К природным условиям, способствующим развитию ветровой эрозии при неправильном использовании земель, относятся высокая скорость ветра (более 3-4 м/с), легкий гранулометрический состав, плохая оструктуренность и низкая влажность верхнего слоя почвы, отсутствие защитного растительного покрова.

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.

Для устранения ирригационной эрозии рекомендуют нарезку поливных борозд проводить по наименьшему уклону не глубже 10-12 см. При увеличении склона с 2 до 6° длина борозд уменьшается до 100 м и поливная струя от 0,1 до 0,05 л/с. На тяжелых почвах следует проводить щелевание, а на легких — орошение дождеванием.

Для увеличения продуктивности эродированных земель предусматривают внесение повышенных доз органических и минеральных удобрений. Залужением сильно эродированных, особенно песчаных и супесчаных почв, малопри-

годных для посева однолетних культур, можно значительно повысить их продуктивность.

4.4. 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 водопропускность их структуры, повысить водопроницаемость тяжелых почв и водоудерживающую способность легких по гранулометрическому составу почв.

Первые опыты по искусственному структурообразованию относятся к 30-м годам XX в. Для этого в почву вносили торфяной клей, нефтебитум, вискозу и др. Полученные материалы позволили уточнить основные требования к структурообразователям. Водный раствор структурообразователя должен равномерно распределяться по поверхности почвы, обволакивая частицы и микроагрегаты и склеивая их в макроагрегаты. Структурообразователи не должны разлагаться почвенными микроорганизмами, не должны быть токсичными для растений и ингибировать действие микроорганизмов почвы.

В настоящее время во многих странах мира наибольшую известность в исследованиях получили полимеры-полиэлектролиты. Они представляют собой высокомолекулярные органические соединения: полиакриламид, полиакрилонитрил, полиакриловую кислоту и их сополимеры, и другие. Полиакриламиды (ПАА, ПАА-1, Са-ПАА), синтезированы на основе акриловых кислот, а препараты серии «К» (К-3, К-4, К-5, К-6, К-9, АКС, АКМ и др.) – на основе полиакрилонитрила. В опытном порядке изучаются воднорастворимые полимеры (ВРП), синтезированные на основе солей натрия с полиакрилонитрилом; водные растворы латексов (Россия); курасол – эмульсия поливинилацетата дибутилмалеата (Германия); унисол – эмульсия синтетического латекса с минеральными маслами (Австрия) и др.

Продукты органического синтеза начинают проявлять структурообразующий эффект при весьма низких дозах, а максимум их действия наблюдается при сотых долях процента к массе почвы, т.е. для оструктурирования всего пахотного слоя требуется не более 10-15 т/га. Но очень часто вполне достаточно перевести из разрушенного состояния в структурное всего лишь верхние 2-3 см почвы, чтобы устранить возможность образования почвенной корки, повышения водопроницаемости или защитить почву от водной или ветровой эрозии. В этих случаях доза полимера сокращается в 5-10 раз. Для повышения эффективности синтетических структурообразователей очень важно установить, каков механизм взаимодействия полимера с почвенными частицами. Наряду с коагуляцией наблюдается адсорбция полимера на поверхности почвенных частиц и образование водопрочных связей. Полимерные молекулы, имея нитевидную форму, служат своеобразными связями между почвенными частицами и микроагрегатами.

Искусственные структурообразователи оказывают большой эффект на водопрочность почвенных агрегатов. Так, при внесении в почву натриевой соли метакриловой кислоты в дозе 0,05% к массе почвы содержание водопрочных агрегатов повышалось по сравнению с контролем на 43-66%. В почве с водопрочными 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.

Созданные синтетическими структурообразователями водопропрочные агрегаты сохраняются в течение 5-6-ти лет, а на сильно засоленных почвах - 2-3 года. В промышленном масштабе применяют смолу горючих сланцев, высокосмолистые серые нефти и продукты их переработки, битумные эмульсии – водные эмульсии различных битумов, гигромуль – мочевино-формальдегидный нено-материал.

Опыты, проведенные в бывшем СССР на песках Каракумов, показали большую эффективность дивинилстирольных латексов. На контрольных участках масса выдуваемых частиц составляла 177 г/м^2 , а с внесением чистого латекса (100 кг/га) – только 52 г/м^2 . При внесении смеси латекса с веретенным или вазелиновым маслом в соотношении 1:5 или 1:10 в количестве 100-150 кг/га потери от ветровой эрозии снизятся до $11,6 \text{ г/см}^2$.

В России широкой известностью пользуется полиакриламид (ПАА). При внесении в почву он оказывает благоприятное действие главным образом на ее структуру, агрегатный состав, и на водный режим почвы. Опыты показали, что за счет внесения ПАА в дозах 0,05-0,1% от массы почвы примерно на 23% снижалось непроизводительное испарение влаги.

В нашей стране используются так же препараты серии «К» (К-4, К-6, К-9 и др.), синтезированные на основе полиакрилонитрила. В орошаемых условиях под воздействием препарата К-4 потеря воды за один сброс на полив уменьшается на $66-86 \text{ м}^3/\text{га}$, возрастает количество впитываемой влаги.

В Средней Азии внесение малых доз искусственных структурообразователей улучшает водно-физические свойства почвы, способствует повышению урожайности хлопчатника.

В условиях США (штаты Калифорния, Юта) полиакриламид значительно повышал впитывание влаги в почву (в 100 раз по сравнению с контролем), снижал поверхностный сток, увеличивал устойчивость водопропрочных агрегатов в 4 раза и более, что особенно важно в орошаемых условиях. Данный препарат в США используют преимущественно в орошаемых условиях.

С 1983 г. в Великобритании используются почвоулучшители « Soiltex L7» и «Soiltex G2» - анионные полиакриламиды. Они применяются, в основном, для улучшения водно-физических свойств, структуры тяжелых по гранулометрическому составу почв. В последние годы используются как противокорковые агенты на орошаемых почвах.

В агрофизическом НИИ получен новый водорастворимый структурообразователь-гидрофорбизатор почв путем щелочного гидролиза стиромалеа. При использовании в дозах до 0,05% от массы почвы препарат резко снижает скорость и высоту капиллярного подъема воды, ее испарение независимо от влажности воздуха и может быть эффективен в борьбе с непроизводительными потерями влаги на испарение.

В настоящее время в нашей стране разработаны также принципиально новые связующие материалы на основе интерполярных комплексов (поликомплексов). При нанесении разбавленных растворов полимеров на почвенную поверхность они быстро реагируют друг с другом, образуя эффективное связующее вещество – поликомплекс. Эти материалы обеспечивают защиту почв от водной и ветровой эрозии, оказывают существенное действие на водопрочность почвенной структуры, скорость инфильтрации влаги в почве, снижая тем самым ее непроизводительные потери.

Сильно набухающие высокомолекулярные соединения, способные к быстрому поглощению влаги из воздуха, почвы – это полимеры-гидрогели. Масса гидратированных полимеров в этом случае может во много раз превышать их первоначальную массу. В зависимости от условий окружающей среды данные вещества могут снова так же легко отдавать влагу в почву. Внося их в почву (в порошковидной, гранулированной форме или в виде хлопьев), можно значительно повышать влагоудерживающую способность, структурное состояние, физические свойства почвы.

В последние годы научными учреждениями Египта создан ряд гидрогелей, испытанных на аридных песчаных почвах. Среди них - "RAPG" (Reclaimer Ameliorator Polymeric Gel) - полимерный гель для мелиоративного улучшения

почв. Препарат получен на основе гидролизованного акрилонитрила и химически обработанных отходов целлюлозы при ионизирующем облучении отработанным ядерным топливом. Гель может быть нейтральным, анионным, катионным или амфотерным.

Анионный гель RAPG-3700, изучение которого велось в последние годы, способен поглощать влагу в 750 раз больше его сухой массы. Использование анионного и нейтрального геля в дозе 0,05-0,2% от массы почвы в 15 раз повышало поглощение влаги почвой, снижало ее потери на испарение и инфильтрацию. В серии опытов было показано, что при обработке почв гелем не отмечалось их уплотнения, образования корки.

Во Франции производится почвоулучшатель "Hydrat sol pou G". Это полимер, предназначенный для улучшения водного режима почв различного гранулометрического состава, способный впитывать и отдавать почвенную влагу. Сообщается, например, что "Hydrat sol P" может в 500-700 раз больше накапливать влаги, чем его собственная масса, в 3 раза сокращать испарение с поверхности почвы, в 6 раз - потребление воды, может адсорбировать воздушную влагу и т.д. При использовании на песчаных почвах в пустынных зонах его наносят на вспаханную поверхность в количестве от 50 до 200 г/м².

В Великобритании для улучшения водного режима почв в засушливых условиях применяют почвоулучшатель "Agrosoke". Он прошел длительные испытания в Великобритании, Греции, Саудовской Аравии, Нигерии, Кении. При внесении в почву способен адсорбировать влагу, в 30 раз превышающую его массу (производится в гранулах), экономить до 50% влаги.

В США известен суперадсорбент "Terra sorb" (TS), обладающий впитывающей способностью, в сотни раз превышающей его собственную массу. Он повышает водоудерживающую способность почвы, обеспечивает оптимальный запас влаги, доступной для растений. Препарат перспективен при богарном возделывании риса, для обработки семян, корней саженцев и сеянцев. Сообщается, что его применение снижает водный стресс, вымывание элементов пита-

ния из почвы, улучшает рост и развитие растений, что ценно для районов неустойчивого увлажнения.

Распространенным почвоулучшителем является препарат "Agriso", содержащий в качестве активного ингредиента анионное поверхностно-активное вещество. Использование препарата значительно изменяло водный режим, увеличивало содержание доступной влаги в почве в период недостаточного выпадения осадков. Урожайность семян хлопчатника на глинистых почвах, обработанных препаратом, была на 19%, а сои - на 17% выше, чем на контроле.

В нашей стране в Институте химической физики АН России разрабатываются методы получения набухающих полимерных гидрогелей. В зависимости от характера выращиваемых растений гидрогели вносят либо в зону развития корневой системы (сплошное внесение), либо непосредственно в ямы для посадки, либо в виде тонких экранирующих слоев, а также обрабатывают ими семена или саженцы.

За счет гидрогелей, полученных на основе синтетических и природных полимеров, можно повышать влагоемкость почв и влагообеспеченность растений. Данные гидрогели способны при набухании увеличивать свой объем в 300-2000 раз. Применение их наиболее эффективно на легких почвах и в южных районах страны.

В Агрофизическом институте исследованы гидрогели К-У2, которые, удерживая влагу, могут увеличивать свою массу до 170 раз. Вся влага гидрогелей доступна растениям.

По данным Института пустынь АН Туркменистана (г. Ашхабад) нанесение битумных эмульсий на поверхность закрепляло подвижные пески, сохраняло влагу в почве.

В условиях Египта внесение от 1500 до 3000 л/га битумной эмульсии сохраняло практически постоянным содержание влаги в почве, увеличивало ее количество в верхнем слое. При этом расход воды для орошения снижался до уровня, соответствующего 60% потенциального испарения.

Для улучшения свойств легких почв, в том числе их водного режима, используют также природные минералы, обладающие высокими сорбционными свойствами. Обожженный вермикулит (термовермикулит) обладает высокой влагоемкостью (200-800%), способен улучшать структуру, водно-воздушный режим почвы и обогащать ее микроэлементами.

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.

Природные цеолиты широко используются в сельском хозяйстве Японии (60% всех добываемых в стране цеолитов). Внесение их в почву повышало урожай озимой пшеницы на 13-15%, риса - на 2-7%, баклажан - на 19-50%, моркови - на 65%, яблок – на 40%. Подобные исследования ведутся и в США.

Для улучшения мелиорируемых почв широкое распространение получили химические мелиоранты. На осушаемых почвах с низкими показателями pH 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 азотфоски 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 ($\text{pH} = 6,0 \dots 7,5$).
4. При внесении композиции в почву реакция почвенной смеси должна устанавливаться в пределах $\text{pH} = 5,6 \dots 7,6$.
5. Способность композиции адсорбировать подвижные формы тяжелых металлов, переводя их в неподвижные формы.
6. Повышенная гидроаккумулирующая способность композиции.
7. Наличие в композиции структурообразователя.

Для проведения химической мелиорации почв и возможной ее детоксикации в основном используются традиционные материалы: известь, гипс, доломитовая мука и т.д.

Для приготовления композиций новых сорбентомелиорантов были выбраны следующие сырьевые компоненты: цеолит, сульфат алюминия, бентонитовая глина, монтмориллониты, угольная пыль, торф, сапропель, лигнин, доломит.

Все компоненты обладают в той или иной степени сорбционными свойствами, экологически чисты и являются материалом, который можно помещать в почву.

Из рассматриваемых новых сорбентов наиболее эффективным является сорбент-мелиорант «Сорбэкс». Это естественный сорбент, коагулянт и оструктуриватель, содержащий до 20% органического вещества, а также минеральные элементы (азот, фосфор, калий, магний). «Сорбэкс» производится в виде порошка или гранул диаметром 15-20 мм.

Одна тонна Сорбэкса способна поглотить 87 кг меди, 81 кг цинка, 130 кг свинца и до 60 кг никеля. Механическая поглотительная способность Сорбэкса отличается тонкодисперсностью и значительной удельной поверхностью. Загрязняющие вещества, имеющие крупные молекулы, такие как пестициды, отходы нефтепродуктов и т.п., механически задерживаются в сорбционных ловушках. Это свойство сорбентмелиоранта предопределяет возможность его использования для очистки различных стоков.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Агроэкологические основы воспроизводства плодородия почв. – Ижевск: Удмуртия, 1999. – 172 с.
2. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. – Казань: Изд-во Казанского Университета, 1984. – 264 с.
3. Декларация второго Всемирного конгресса по сберегающему земледелию, Фоц ду Игуасу, Парана, Бразилия. 11-15 августа, 2003г., 325с.
4. Интенсивная технология возделывания сельскохозяйственных культур / Под ред. Г.В. Коренева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 301 с.
5. Кизяев Б.М., Ммаммаев З.М. Культуртехнические мелиорации: технологии и машины. – М.: Ассоциация «Экост», 2003. – 399 с.
6. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
7. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. – М.: Из-во МСХА, 2000. – 473 с.
8. Кочетов И.С. Агроландшафтное земледелие и эрозия почв в Центральном Нечерноземье. – М.: Колос, 1999. – 224 с.
9. Лыков А.М. Органическое вещество и плодородие почв в интенсивном земледелии. Обзорная информация. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1984. – 60 с.
10. Пекеньо Х.П. Тропическое земледелие. – М.: Изд-во УДН, 1984. – 337 с.
11. Пекеньо Х.П. Практикум по тропическому земледелию. – М.: Изд-во УДН, 1987. – 280 с.
12. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья / Под общей ред. Н.З. Милащенко. – М., 1993 – 864 с.
13. Рекомендации по применению почвозащитных мероприятий на осушительных системах и прилегающих территориях. – М.: ВНИИГиМ, 1998. – 48 с.

14. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов, В.В. Ефремов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.
15. Толчельников Ю.С. Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними. – М.: Агропромиздат, 1990. – 158 с.
16. Томпсон Л.М., Троу Ф.Р. Почвы и их плодородие. – М.: Колос, 1982.
17. Устойчивость земледелия: проблемы и пути решения / Под ред. В.Ф. Сайко. – Киев: Урожай, 1993. – 320 с.
18. Черников В.А., Милащенко Н.З., Соколов О.А. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. Книга 3. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ РАН, 2001. – 203 с.
19. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экоотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. – М.: Агроконсалт, 1999. – 176 с.
20. Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.Н. Критерии и модели плодородия почв. – М.: Агропромиздат, 1987.
21. Шуравилин А.В., Кибека А.И. Мелиорация: Учебное пособие. – М.: ИКФ «Экмос», 2006. – 944 с.

Дополнительная

1. Баздырев Г.И. Зотов Л.И. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии. – М.: МСХА, 1995.
2. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И., Рассадин А.Я., Сафонов А.Ф., Туликов А.М. Земледелие. – М.: Колос, 2000.
3. Видение прямого посева. Доктор Фридрих Тебрюгге (Юстус-Либиг Университет Гисен), председатель общества по нулевой обработке почвы. – 2003.
4. Володин В.М. Агроэкологические основы регулирования почвенного плодородия: Автореф. дис....д. с-х.н. – Минск, 1991. – 59 с.

5. Гидромелиоративные системы нового поколения. – М.: ВНИИГиМ, 1997. – 109 с.
6. Гулюк Г.Г., Щуравилин А.В. Эффективное функционирование дренажных систем на минеральных землях Нечерноземной зоны России. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 376 с.
7. Довбан К.И. Зелёное удобрение. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 206 с.
8. Захаренко А.В. Гербициды. – М.: МСХА, 2000.
9. Захарова О.А. Ресурсосберегающая технология восстановления деградированных почв. – Рязань, 2004. – 264 с.
10. Карманов И.И. Плодородие почв СССР. – М.: Колос, 1980.
11. Каиштанов А.Н. Научные основы современных систем земледелия – М.: Агропромиздат, 1988.
12. Ковда В.А. Паченский Я.А. Почвенные ресурсы СССР, их использование и восстановление – Пушкино: Изд-во АН СССР.
13. Комисарова И.Д. Гумификация органического вещества и плодородия почв. – Тюмень: ТГСХА, 2003. – 14 с.
14. Кузнецов М.С., Демидов В.В. Эрозия почв лесостепной зоны центральной России: моделирование, предупреждение и экологические последствия. – М.: Изд-во ПОЛТЕКС, 2002. – 184 с.
15. Мажайский Ю.А. Гусева Т.М. Тяжелые металлы в экосистемах водосборов малых рек. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 138с.
16. Метод мульчированного посева сахарной свёклы. Развитие и сегодняшнее значение Д-р. Йохим Брунотте, проф. д-р инж. Клаус Зоммер, институт производственной техники и с\х исследований. – Брайшвайг, 2004.
17. Минеев В.Г., Дербецени Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и удобрения. – М.: Колос, 1993. – 415 с.
18. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна. – М.: Наука, 2006. – 223 с.

19. Почвы Московской области и повышение их плодородия. – М.: Московский рабочий, 1974. – 662 с.
20. Проблемы деградации сельскохозяйственных земель России их охраны и восстановления продуктивности / Под ред. акад. Россельхозакадемии Г.А. Романенко. – М.: ВНИИА, 2005. – 60 с.
21. Стратегия обработки почвы. Отказ от плуга окупает себя. Доклад на третьей Бернбургской агрономической конференции в Штрэнфельде Д. Йоахим Бишофф и д-р Роланд Рихтер из вновь созданного института сельского хозяйства и садоводства (ИСХС). – 2004г.
22. Увеличение биологической активности в почве с помощью сберегающего земледелия: Отношение к почве как к живому организму (Джил Клапперон: Исследовательский центр в г. Лесбридж (Канада). – 2004. – 186 с.
23. Черемисинов Г.А. Эродированные почвы и их продуктивное использование. – М.: Колос, 1968. – 215 с.
24. www.mps-group.ru
25. www.eurotechnika.ru.
26. www.omafra.gov.on.ca/english/crops/soils/fertility.html
27. www.ecsocman.edu.ru/db/msg/113958.html
28. www.istc.ru/ISTC/sc.nsf/html/prs.htm?open&id=5287
29. www.CNSHB.ru/jour/j_as.asp?id=79604
30. www.myland.org.ua/eng/13/213/213/2071/
31. www.glossary.ru/cgi-bin/gl_sch2.cgi?ipoxca
32. www.terranovamd.com/soils.htm
33. www.koksu.kz/eng/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=1
34. www.miniopt.ru/odp.php?browse=/Science/Agriculture/Soils/
35. www.stud-info.com/shop/ozon/book/zakaz.asp?id=1781678
36. www.mineral.cbx.ru/urojaien.html
37. www.armic.am/modules.php?name=News&file=view&new
38. www.rr.ualberta.ca/Student Information/Courses/Soils460/Index.asp

39. www.land-use.ru/dictionary_4e.htm
40. www.kurdyumov.ru/english/euo04.php
41. www.avamarket.com/J_English/Morocco.html
42. www.step.mrda.md/index.php?lang=en&m1=science&domeniu=1&invent=8.
43. www.era.com.ua/dir/Science/Agriculture/Soils/
44. www.boooks.us/agricultural_sciences/soil_science.24.html
45. http://www.agrovodcom.ru/zz_metall.html
46. <http://revolution.allbest.ru/chemistry/00005888.ht.ml>
47. <http://www.esi.ru/metals.htm>
48. http://www.kvazar-d.ru/kva/ores_of_heavy_metals/
49. http://www.protore.ru/pro/ores_of_heavy_metals/
50. http://www.gazeta.ru/science/2008/04/22_a_2703143.shtml
51. http://www.biotechnolog.ru/prombt/prombt1_2.htm
52. <http://ecomoscow.ru/modules/smartsection/item.php?>
53. <http://www.membrana.ru/lenta/?5949>
54. http://www.autismwebsite.ru/Treatment_Options_for_Mercury.htm
55. <http://ecolife.org.ua/data/tdata/td2-19.php>
56. http://www.rg.ru/Anons/arc_2001/0223/7.shtm
57. http://zhurnal.lib.ru/p/proskurin_w_g/zwerg.shtml
58. http://www.snf.su/for_metall_removing.html
59. http://www.sovstroymat.ru/2001_11_02.php
60. http://ecoportal.ru/view_orders.php?id=1545
61. <http://www.orenburg.kp.ru/daily/life/doc32769/>
62. http://www.domotvetov.ru/Medicine/a/25780_86.html
63. <http://www.new-garbage.com/?id=10238>
64. <http://lot451953.digisells.ru/>
65. <http://ecomomo.ru/index.php?go=News&in=view&id=23>
66. <http://n-t.ru/ri/gd/yd30.htm>

ОПИСАНИЕ КУРСА И ПРОГРАММА

Проблема сохранения и повышения плодородия почв становится всё 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 высокий, превышающий 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. Итенсификация земледелия должна быть обоснованной обеспечивающей повышение эффективного и потенциального плодородия почв. То есть урожай продукции хорошего качества при прогрессивном росте плодородия почв. Решение этой проблемы возможно посредством совершенствования запальных и адаптивно-ландшафтных систем земледелия, внедрения почвозащитных технологий возделывания культурных растений, основанных на современных принципах систем управления плодородием почв, использование ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий на мелиорируемых и эродированных почвах, применением комплекса мероприятий по повышению плодородия антропогенно деградированных малопродуктивных почв к сожалению в учебных курсах рассматриваемые вопросы проблемы повышения плодородия почв не находит достаточного отражения. Разработанный курс является принципиально новым и не имеющим аналогов в системе образовательных учреждений.

В работе обобщены многолетние исследования учебных и научно-исследовательских заведений, а также накопленный производственный опыт по

проблеме сохранения и повышения плодородия почв. Освещены вопросы теории и методологии оценки и прогноза почвенного плодородия; дан анализ современного состояния почвенных ресурсов страны, изложены принципы моделирования плодородия почв и его воспроизводства.

Рассмотрены технологические и агроэкологические критерии управления производительной способностью почв в агроэкосистемах, способы повышения плодородия антропогенного загрязнения почв, а также современные способы и технологии в земледелии и мелиорации.

Цель курса.

Целью данного курса является подготовка высококвалифицированных специалистов, владеющих теоретическими знаниями и практическими навыками по основам сохранения и повышения плодородия земель.

Задачи курса.

1. Ознакомление слушателей с теоретическими принципами регулирования плодородия почв;
2. Изучение почвенно-экологических показателей и бонитировки почв в отношении различных сельскохозяйственных культур.
3. Изучение способов повышения плодородия антропогенно загрязнённых почв;
4. Исследование процессов поступления и трансформации загрязнителей в почвах и растениях;
5. Ознакомление с методами очистки загрязнённых почв и получения экологически безопасной продукции;
6. Освоение новых способов обработки почв и технологий возделывания сельскохозяйственных культур;
7. Овладение современными способами и технологиями повышения плодородия почв на основе адаптивно-ландшафтного земледелия;
8. Ознакомление с основами культур технических мероприятий по подготовке почв к сельскохозяйственному использованию;

9. Изучение мероприятий по повышению плодородия мелиорируемых и эродированных земель;
10. Изучение приёмов улучшения структуры почв и плодородия при использовании мелиорантов.

Методическая новизна курса.

Программа курса опирается на вновь разработанные и ещё не внедрённые методики сохранения и повышения плодородия земель сельскохозяйственного назначения при одновременном получении высоких урожаев экологически безопасной сельскохозяйственной продукции.

Методическая новизна курса заключается также в использовании современных технологий повышения плодородия антропогенно загрязнённых, мелиорируемых и эродированных земель, а также в применении адаптивно-ландшафтных систем земледелия и новых агротехнологий.

Место курса в системе формирования инновационных квалификаций.

Инновационность данного курса заключается в применении последних научных разработок научно-исследовательских институтов аграрного и экологического профиля в области сохранения и повышения плодородия почв, а также для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур без нанесения ущерба окружающей среде.

Рассматриваемый курс является одним из ведущих при формировании профессионального облика специалиста обладающего современными знаниями.

В плане организации учебного процесса необходимо отметить, что весь учебный материал будет иллюстрироваться практическими примерами с использованием современной компьютерной техники, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет.

Научная новизна.

Научная новизна курса состоит в использовании последних достижений агрономической науки и в применении комплексного подхода к решению проблемы воспроизводства и повышения плодородия почв, образующегося на всестороннем изучении теоретических знаний и практических результатов, полученных отечественными и зарубежными учёными.

Требования к освоению содержания курса.

Студент должен знать:

- теоретические основы оценки и прогноза почвенного плодородия;
- принципы и методологию моделирования плодородия почв и его воспроизводства;
- способы и методы очистки и повышения плодородия антропогенного загрязнённых почв;
- новые технологии повышения плодородия почв и используемые в земледелии;
- современные приёмы и мероприятия по освоению земель и повышению плодородия мелиорируемых и эродированных почв.

Студент должен уметь:

- анализировать и оценивать состояние плодородия почв, устанавливать направления улучшения почвенного плодородия антропогенно загрязнённых и малопродуктивных почв, а также мелиорируемых и эродированных почв, определить состав регулируемых факторов, обосновать новые методы, способы и технические средства по восстановлению и повышению почвенного плодородия, разработать комплекс мероприятий и требования охраны почв;
- составлять научно-обоснованные севообороты и чередование культур;
- применять новые технологии возделывания сельскохозяйственных культур на основе адаптивно-ландшафтного земледелия.

Студент должен иметь навыки:

- проведения агроэкологической оценки почв;
- проведения мониторинга по исследованию почв на содержание тяжёлых металлов и других загрязнителей;
- проведения агрохимических исследований, определения засоренности посевов сорными растениями, поражённости болезнями и вредителями и урожайности сельскохозяйственных культур;
- проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия для конкретных почвенно-климатических условий агроландшафта с использованием новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур;
- в разработке технологических процессов при проведении культуртехнических работ на мелиорируемых землях;
- расчёта почвенно-экологических показателей и бонитировки почв в отношении различных сельскохозяйственных культур;
- расчёта технологических и агротехнических параметров при обосновании современных технологий в земледелии;
- оценки эффективности агротехнических мероприятий при восстановлении и повышении плодородия малопродуктивных почв.

Студент должен владеть основными понятиями и терминами по изучаемой дисциплине в частности следующие: почвенный покров, плодородие почвы, техногенное и агрогенное загрязнение почвы, радиоактивность, радионуклиды, фитотоксичность почвенно-экологическая оценка, бонитировка почв, технологии в земледелии, зональная система земледелия, адаптивно- ландшафтная система земледелия, технологические параметры почв, агротехнические мероприятия, мелиоранты, водные мелиорации, фитомелиорация, лесотехнические мелиорации, химические мелиорации, культуртехнические мероприятия, водная эрозия почв, дефляция и др.

Содержание курса.

Курс состоит из четырёх разделов и включает 18 тем. По рассматриваемым темам по мере прохождения лекционного (теоретического) материала со студентами будут проводиться практические (семинарские) занятия.

В период изучения курса по отдельным темам и новым разделам студенты будут готовить рефераты. Кроме этого каждый студент готовит курсовую работу.

Раздел 1. Теоретические основы сохранения и повышения плодородия сельскохозяйственных земель.

Тема 1. Состояние и проблемы плодородия почв.

Тема 2. Современная теория и методология плодородия почв.

Тема 3. Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв.

Тема 4. Биоклиматический потенциал продуктивности почв.

Раздел 2. Повышение плодородия антропогенно загрязнённых почв сельскохозяйственного назначения.

Тема 5. Источники загрязнения почв тяжёлыми металлами и другими токсикантами.

Тема 6. Процессы взаимодействия загрязнителей с почвенными компонентами.

Тема 7. Поступление тяжёлых металлов и радионуклидов в растения.

Тема 8. Меры борьбы с загрязнением.

Тема 9. Повышение урожайности и качества продукции.

Раздел 3.

Тема 10. Энергосберегающие системы обработки почвы, повышение их плодородия.

Тема 11. Научные основы севооборотов, как основа повышения плодородия почв.

Тема 12. Приёмы улучшения фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур, обеспечивающих повышение продуктивности земель.

Тема 13. Новые технологии возделывания культур широкорядного и сплошного способов сева.

Тема 14. Технология возделывания сельскохозяйственных культур на основе адаптивно-ландшафтного земледелия.

Раздел 4. Энергосберегающие и экологически безопасные мероприятия по повышению плодородия мелиорируемых и эродированных почв.

Тема 15. Культуртехнические мероприятия.

Тема 16. Повышение плодородия мелиорируемых почв.

Тема 17. Сохранение плодородия почв, подверженных эрозионным процессам.

Тема 18. Приёмы улучшения почв с использованием мелиорантов.

Перечень практических (семинарских) работ.

1. Расчёт почвенно-экологических показателей для пашки обычной, орошаемой и осушаемой.
2. Расчёт почвенно-экологических показателей для почв многолетних насаждений, сенокосов и пастбищ.
3. Расчёт баллов бонитета для пашки обычной и орошаемой.
4. Определение структурно-агрегатного состава почвы.
5. Определение технологических свойств почвы.
6. Составление и проектирование севооборотов с использованием почвенных карт.
7. Определение засорённости почвы семенами сорных растений.
8. Определение объёмов, машин и агрегатов (Машино-часов) и стоимости работ при выполнении культуртехнических мероприятий.

По отдельным темам проводятся семинары с обсуждением индивидуальных докладов студентов.

Темы рефератов.

1. Почвенно-экологическая оценка почв по регионам.
2. Бонитировка почв в отношении различных сельскохозяйственных культур.
3. Роль различных отраслей народного хозяйства в загрязнении почв тяжёлыми металлами и радионуклидами.
4. Взаимодействие тяжёлых металлов и радионуклидов с органическим веществом и минеральной частью почвы.
5. Поступление загрязнителей в растения и их накопление в различных сельскохозяйственных культурах.
6. Меры борьбы с загрязнением почв и способы получения экологически безопасной продукции.
7. Системы обработки почвы обеспечивающие их плодородие и их энергетическую эффективность по зонам.
8. Влияние агротехнических и биологических приёмов на фитосанитарное состояние посевов.
9. Обоснование адаптивно-ландшафтных систем земледелия для различных почвенно-климатических зон.
10. Культуртехнические мероприятия и их эффективность при освоении мелиорируемых земель.
11. Почвозащитные мероприятия на эродированных землях.
12. Пути улучшения структуры почвы при использовании мелиорантов.

Перечень тем курсовых работ.

1. Современная теория и методология моделирования плодородия.
2. Почвенная оценка и бонитировка различных типов почв в зависимости от увлажнения.
3. Повышения плодородия антропогенно загрязнённых почв.
4. Интенсификация земледелия на основе механизации, сбалансированного внесения удобрений и мелиорации.

5. Использование современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия.
6. Разработка системы мероприятий по улучшению плодородия мелиорируемых почв.
7. Почвозащитные мероприятия на землях подверженных водной эрозии.

Объём часов и виды учебной работы по курсу приведены в табличной форме.

Номер темы	Наименование разделов и тем	Всего часов (зачётных единиц)	Лекции, час	Практические (семинарские) занятия
1	2	3	4	5
<i>Раздел 1. Теоретические основы сохранения и повышения плодородия сельскохозяйственных земель.</i>				
1	Состояние и проблемы плодородия почв.	4	2	2
2	Современная теория и методология плодородия почв.	4	2	2
3	Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв.	4	2	2
4	Биоклиматический потенциал продуктивности почв.	4	2	2
<i>Раздел 2. Повышение плодородия антропогенно загрязнённых почв сельскохозяйственного назначения.</i>				
5	Источники загрязнения почв тяжёлыми металлами и другими токсикантами.	4	2	2
6	Процессы взаимодействия загрязнителей с почвенными компонентами.	4	2	2
7	Поступление тяжёлых металлов и радионуклидов в растения.	4	2	2
8	Меры борьбы с загрязнением.	4	2	2
9	Повышение урожайности и качества продукции.	4	2	2
<i>Раздел 3. Современные технологии повышения плодородия почв в земледелии.</i>				
10	Энергосберегающие системы обработки почвы, повышение их плодородия.	4	2	2
11	Научные основы севооборотов, как основа повышения плодородия почв.	4	2	2
12	Приёмы улучшения фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур, обеспечивающих повышение продуктивности земель.	4	2	2

1	2	3	4	5
13	Новые технологии возделывания культур широкорядного и сплошного способов сева.	4	2	2
14	Технология возделывания сельскохозяйственных культур на основе адаптивно-ландшафтного земледелия.	4	2	2
Раздел 4. Энергосберегающие и экологически безопасные мероприятия по повышению плодородия мелиорируемых и эродированных почв.				
15	Культуртехнические мероприятия.	4	2	2
16	Повышение плодородия мелиорируемых почв.	4	2	2
17	Сохранение плодородия почв, подверженных эрозионным процессам.	4	2	2
18	Приёмы улучшения почв с использованием мелиорантов.	4	2	2
Итого, час		72	36	36
Зачётных единиц (баллов)		100		

Содержание разделов курса.

Раздел 1. Теоретические основы сохранения и повышения плодородия сельскохозяйственных земель.

Состояние и проблемы плодородия почв.

Классификация почв и их дифференциация по токсикологическим категориям. Генетическое разнообразие почв на типовом уровне. Тенденции в изменении плодородия почв. Требования предъявляемые экологической методологии регулирования плодородия почв. Состояние земельного фонда страны. Окультуренность почв и резервы их повышения для сельскохозяйственного производства.

Деградация почвенного покрова в результате водной и ветровой эрозии и хозяйственной деятельности человека. Потеря гумуса и питательных элементов, ухудшение физико-химических, водно-физических и агрономических свойств почв в местах проявления эрозии. Изменение теплового режима на эродированных почвах. Противоэрозионная организация территории. Почвозащитные мероприятия в борьбе с эрозией почв. Экологически безопасные технологии использования эрозионно опасных земель. Применение комплекса организационно-хозяйственных и землеустроительных мероприятий по восстановлению плодородия эродированных почв.

Техногенное загрязнение почв. Формирование техногенных биогеохимических провинций в пригородных зонах крупных городов. Агрогенное загрязнение почв, в связи с плохой утилизацией стоков, слабым контролем при внесении минеральных удобрений и гербицидов. Оценка обеспеченности почв микроэлементами и состояние загрязнения почв техногенными выбросами. Роль химизации и мелиорации в системе управления почвенным плодородием. Эффективность использования мелиорируемых почв. Интенсификация земледелия. Замена трудоёмких

технологий наукоёмкими в целях повышения качественного уровня регулирования эффективного почвенного плодородия.

Современная теория и методология плодородия почв. Теоретические принципы моделирования. Моделирование – как основной метод изучения сущности почвообразования и плодородия почв и как одна из последовательских фаз познания по схеме объект – модель – теория. Описание почвенных процессов объекта. Информация о генезисе, эволюции и свойствах почв. Количественное выражение функционирования почвы как открытой многокомпонентной динамической системы. Существенные показатели для характеристики доминирующих почвенных процессов. Принципы моделирования по естественному, антропогенному и эффективному плодородию. Модели плодородия агроэкосистем. Использование информационно-логических моделей (ИЛМ) при разработке более совершенных методов управления плодородием применительно к отдельным почвам. Схемы построения и типизация моделей. Последовательность разработки моделей: постановка задачи, построение модели, отыскание решения, проверка, практическое использование. Аналитический и идентификационный подходы при построении модели. Классификация моделей по форме представления информации. Концептуальные модели, составляющие костяк представлений о педосфере. Информационные модели. Математические модели. Имитационное моделирование. Модели управления плодородием. Классификация моделей плодородия почв. Выбор объектов моделирования – важнейший этап при моделировании почвенного плодородия. Региональные модели плодородия. Локальные модели плодородия почв, учитывающие специфику отдельных агроценозов и применяемую технологию возделывания сельскохозяйственных культур. Глобальные модели, учитывающие в первую очередь агроэкологические аспекты плодородия. Информационное обеспечение моделей. Источники информации: Результаты многофакторных полевых опытов и другие достоверные эмпирические данные о

моделируемых объектах. Объём, точность и упорядоченность исходной информации. Принцип пассивного эксперимента. Подбор оптимальных параметров свойств почв по эмпирическому и нормативному вариантам и разработка множественной корреляционно-регрессивной модели. Показатели плодородия и их информативность. Установление рационального общего числа параметров при составлении модели с учётом взаимосвязи отдельных свойств и режимов почвы как сбалансированной системы. Учёт значимости факторов в зависимости от решаемых задач в комплексе возможных изменений почв. Дополнительные характеристики гидротермического и окислительно-восстановительного режимов и других дополнительных показателей необходимые при составлении моделей мелиорации и окультурирования гидроморфных минеральных почв гумидных ландшафтов.

Модели прогноза и управления почвенным плодородием. Прогнозирование состояния почв и почвенного покрова. Использование общей теории эволюции почв и почвенного покрова при научном обосновании прогнозных моделей. Управление почвенным плодородием. Моделирование управления плодородием. Информационные блоки, составляющие для общей оценки плодородия почв и конкретных мер по повышению. Схема управления сложными системами. Системы управления плодородием почв в зависимости от цели управления. Моделирование изменений почв в процессе мелиорации и окультурирования. Банк моделей плодородия почв. Принципы его унификации.

Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв. Методика и технология общей почвенно-экологической оценки и бонитировки почв в отношении различных сельскохозяйственных культур. Определение почвенно-экологических показателей и баллов бонитета почв пашни, многолетних насаждений, сенокосов и пастбищ для конкретных земельных участков, хозяйства, зоны, области и др. Оценка уровня плодородия почв, химизации земледелия и экономики.

Разделы при технологии выполнения работы и их характеристика. Подготовка почвенно-агрохимических и агроклиматических данных по хозяйствам.

Природная зона тип и подтип почвы, площади угодий, в том числе мелиорируемых, содержание питательных элементов в почве, кислотность почвы, агроклиматическая характеристика, гранулометрический состав почв, степень смывости почв. Почвенно-экологическая оценка почв. Расчёт почвенно-экологических показателей для пашни обычной, пашни орошаемой, пашни осушаемой, торфяно-болотных почв, малоразвитых почв, почв горных территорий, многолетних насаждений, сенокосов и пастбищ. Расчёт средних почвенно-экологических показателей. Бонитировка почв в отношении различных сельскохозяйственных культур. Расчёт баллов бонитетов для пашни обычной и орошаемой.

Биоклиматический потенциал продуктивности почв. Основные показатели для оценки биоклиматического потенциала продуктивности почв. Способ определения оценки почвенно-климатических ресурсов. Тепловые ресурсы и их использование для оценки продуктивности пашни. Задачи водного режима почв, испаряемости, транспирации и солнечная радиация при оценке биоклиматического потенциала продуктивности почв. Пути использования биоклиматического потенциала для повышения почвенного плодородия.

Раздел 2. Повышение плодородия антропогенно загрязнённых почв сельскохозяйственного назначения.

Источники загрязнения почв тяжёлыми металлами и другими токсикантами.

Основные источники загрязнения почв тяжёлыми металлами: промышленные и энергетические предприятия, авиационный, автомобильный и железнодорожный транспорт, минеральные удобрения и вещества, используемые в качестве удобрений и мелиорантов, пестициды, оросительные воды, загрязнённые промышленными стоками, городской мусор и т.д. Загрязнители, поступающие в почву: церий, хром, свинец, ртуть,

серебро, олово, титан, радий, уран и другие металлы. Площади почв, загрязнённые тяжёлыми металлами. Картирование почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. Оценка пригодности земель для сельскохозяйственного производства по содержанию и формам тяжёлых металлов.

Источники поступления радионуклидов в почву: испытания ядерного оружия, аварии на предприятиях ядерного топливного цикла (в том числе и АЭС), захоронение ядерных отходов. Картирование земель, загрязнённых радионуклидами.

Процессы взаимодействия загрязнителей с почвенными компонентами.

В данной теме рассмотрены процессы взаимодействия ТМ с различными почвенными компонентами и влияние этих процессов на свойства образующихся соединений ТМ. Исследованы процессы сорбции, миграции, трансформации, поглощения растениями, выноса в грунтовые воды и включения в биогеохимические круговороты тяжёлых металлов. Факторы, влияющие на поведение ТМ в почве: рН, индивидуальные особенности ионов ТМ, глинистые минералы, минералогический состав, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) почвы, концентрация CO_2 в почвенном растворе, тип обмена ионов в почве, органическое вещество почв и его состав. Взаимодействие тяжёлых металлов с органическим веществом почвы, его группами и фракциями. Типы образующихся соединений, их устойчивость и подвижность. Роль органо-минеральных соединений в обезвреживании ТМ. Роль водорастворимых органических веществ в миграции ТМ. Способность ТМ активно включаться в трофические цепи экосистем. Доступность различных форм ТМ в почве для растений.

Взаимодействие радионуклидов с компонентами почв. Длительность радиоактивного загрязнения земель.

Поступление ТМ и радионуклидов в растения. Распределение и накопление токсикантов в органах растений.

Роль растений в геохимическом круговороте элементов. Поступление загрязнителей в пищевые цепи и накопление тяжёлых металлов в организме человека.

ТМ как микроэлементы для растений: цинк, медь, марганец, кобальт и другие. Опасность бессимптомного накопления ТМ в растениях.

Пути поглощения ТМ растениями: корневое поглощение и через наземные части растений. Пассивное и активное (метаболическое) корневое поглощение ТМ. Фолиарное поглощение ТМ растениями. Барьеры при поступлении ТМ в растения. Корневой барьер. Ряды распределения ТМ по органам растений: корни>стебли>листья>плоды (семена). Особенности поступления в растения некоторых ТМ. Влияние корневой системы растений на подвижность ТМ в почве.

Симптомы фитотоксичности: хлороз и некроз листьев, замедление роста и развития растений, уродливость и недоразвитость корневой системы. Ряды фитотоксичности ТМ. Использование чувствительных к избытку ТМ растений в качестве тестовых культур. Растения-концентраторы ТМ, их особенности. Видовые и сортовые различия в накоплении ТМ растениями. Механизмы защиты от избытка ТМ и радионуклидов в растениях. Закономерности поступления и накопления радионуклидов в растениях.

Меры борьбы с загрязнением.

Способы обезвреживания ТМ: механические, химические и агротехнические. Использование механических способов для снижения концентрации ТМ в почве. Химические способы инаktivации ТМ и возможности их применения. Мелиоранты: известь, растворимые соли ортофосфорной кислоты, сера, силикаты, гидросиликаты, меркапто-8-триазин, ионообменные смолы и цеолиты. Проблемы, возникающие при использовании мелиорантов.

Способы направленные на удаление ТМ из верхнего корнеобитаемого слоя почвы: промывание загрязнённой почвы различными экстрагентами, электромелиорация и фитомелиорация. Экстрагенты: слабые растворы соляной и серной кислот, хлоридов алюминия и железа и ЭДТА. Проблемы, возникающие при применении экстрагентов. Электромелиорация как новый способ очистки почв от тяжёлых металлов. Факторы, влияющие на эффективность очистки почв. Фитомелиорация и её использование для снижения содержания ТМ в почвах. Использование растений – гипераккумуляторов: перспективы и возможности применения.

Агротехнические мероприятия и их применение для обезвреживания ТМ в почве.

Методы борьбы с радиоактивным загрязнением почв. Использование земель, загрязнённых радионуклидами, в народном хозяйстве.

Повышение урожайности и качества продукции.

В данной теме будут рассмотрены основные способы, направленные на повышение урожайности сельскохозяйственных культур на загрязнённых почвах и получения экологически безопасной продукции достижение этой цели, а также мероприятия по рациональному использованию загрязнённых земель.

Комплексность применения способов обезвреживания ТМ. Применение органических и минеральных удобрений на загрязнённых почвах. Возделывание сельскохозяйственных культур, устойчивых к загрязнению почвы ТМ. Возделывание продовольственных культур, у которых используются в пищу плоды и семена. Выявление сортов сельскохозяйственных культур, не накапливающих ТМ в товарной продукции и проведение селекции новых сортов по этому признаку. Возделывание технических культур. Использование загрязнённых земель под семенные посевы. Оценка целесообразности проведения мероприятий по обезвреживанию ТМ.

Мероприятия по использованию сельскохозяйственных угодий, загрязнённых радионуклидами.

Раздел 3. Современные технологии повышения плодородия почв в земледелии.

Тема 1. Энергосберегающие системы обработки почвы, повышение их плодородие.

Тема 2. Научные основы севооборотов, как основа повышения плодородия почв

Тема 3. Приемы улучшения фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур, обеспечивающих повышение продуктивности земель

Тема 4. Новые технологии возделывания культур широкорядного и сплошного способов сева

Тема 5. Технологии возделывания сельскохозяйственных культур на основе адаптивно-ландшафтного земледелия

Содержание раздела

Энергосберегающие системы обработки почвы, повышение их плодородие. Развитие научных основ обработки почв. Требования, предъявляемые к обработке почвы. Технологические свойства почвы и их влияние на качество обработки. Технологические процессы при обработке почвы. Технологические приемы обработки почвы: предпосевная, основная, предпосевная, послепосевная обработки. Орудия обработки почвы. Агротехническая характеристика орудий основной, поверхностной, предпосевной и междурядной обработки почвы. Приемы и способы основной обработки почвы. Типы вспашки. Обработка дисковым плугом, безотвальное рыхление и условия их применения.

Глубина вспашки, ее значение в окультуривании и повышении плодородия почвы. Научные основы выбора оптимальной глубины

вспашки и рациональное использование подпахотных слоев почвы. Методы вовлечения подпахотного слоя в культуру на различных типах почв. Проблема создания мощного культурного пахотного слоя для различных почвенно-климатических зон.

Специальные приемы обработки почв: ярусная и послойная обработка почвы, плантажная вспашка, фрезерование, кротование, щелевание и др. Условия их применения и агротехническая эффективность.

Приемы и способы поверхностной обработки почвы: лущение, культивация, прикатывание, боронование, выравнивание поверхности поля.

Принципы комплексирования глубокой и поверхностной обработки. Роль разноглубинной обработки почвы в севообороте. Техника вспашки, методы оценки качества обработки.

Требования, предъявляемые к качеству и срокам обработки почвы и строению почвы отдельными группами сельскохозяйственных культур. Понятие о системе обработки почвы. Основная обработка почвы. Роль оптимальных сроков обработки и их влияние на свойства почвы.

Система обработки почвы под зерновые культуры сплошного способа посева.

Система обработки почвы под пропашные культуры (маниок, батат, картофель и др.).

Система обработки почвы под многолетние бобовые культуры и пастбища.

Система обработки почвы под технические культуры (хлопчатник, сахарная свекла, сахарный тростник).

Пары, их роль в засушливых условиях. Техника и особенности обработки паров в различных природных условиях.

Система обработки перелогов, залежей и целинных земель. Понятие о перелоге, залежи и целине. Особенности обработки почвы при освоении залежей, саванн и пампасов (прерий).

Предпосевная обработка почвы. Задачи предпосевной обработки почвы и приемы, орудия для ее проведения в различных почвенно-климатических условиях в зависимости от особенностей культур-предшественников, времени и способа посева, степени связности и уплотнения почвы. Применение прикатывания в системе предпосевной обработки почвы.

Обработка почвы в условиях орошения. Задачи обработки почвы в условиях орошения. Основная и текущая планировка рельефа поля, подготовка почв к поливам. Особенности основной обработки почвы при орошении.

Обработка почвы после проведения предпахотных и влагозарядковых поливов.

Минимальная противоэрозионная обработка почвы. Минимальная, мульчирующая обработка почвы и основные зоны ее применения. Взаимосвязь минимализации обработки почвы со специализацией сельскохозяйственного производства. Особенности основной и предпосевной обработки почвы, подверженной водной и ветровой эрозии.

Научные основы севооборотов, как основа повышения плодородия почв

Понятие и определение севооборота (ротация). Структура посевных площадей. Причины, вызывающие необходимость чередования культур. Отношение полевых культур к повторным и бессменным посевам. Повторные посевы хлопчатника, картофеля, батата, таро, сахарного тростника, кукурузы и других культур в связи с интенсификацией земледелия. Пути преодоления биологических причин снижения урожайности при повторных и бессменных посевах.

Размещение полевых культур и паров в севооборотах] Агрономические принципы чередования культур в севообороте. Пары, их классификация и роль в севообороте. Агротехнические фоны (многолетние травы, зерновые, зернобобовые, пропашные и т. д.) и их агрономическая характеристика предшественников. Промежуточные культуры и их роль в интенсификации земледелия. Место промежуточных культур в севообороте.

Классификация севооборотов по их хозяйственному назначению (типы севооборотов) и соотношение групп культур и паров (виды севооборотов). Особенности и основные звенья полевых, кормовых, лугово-пастбищных и специальных севооборотов. Характеристика полевых севооборотов. Специальные севообороты (табачные, хлопковые, почвозащитные и др.) и их значение. Особенности построения севооборотов в орошаемом земледелии и в районах, подверженных эрозионным процессам.

Проектирование севооборотов (понятие о введении и освоении севооборотов). Использование почвенных карт и картограмм при проектировании и освоении севооборотов. Учет рельефа, степени окультуренности полей, биологических особенностей культур и других факторов. Составление плана перехода к севообороту. Установление структуры посевных площадей, определение числа, типов и видов севооборотов, состава культур и их чередования. План перехода к севообороту. Составление переходных и ротационных таблиц. Понятие о гибкости севооборота. Оценка севооборота по продуктивности и по его действию на плодородие почв и засоренность посевов.

Приемы улучшения фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур, обеспечивающих повышение продуктивности земель

Потери урожая сельскохозяйственных культур от болезней, вредителей и сорняков. Способы борьбы с болезнями и вредителями. Биоэкологические основы организационно-хозяйственных и агротехнических мероприятий против болезней и вредителей. Химический метод и его значение в комплексе мероприятий по борьбе с вредными и болезнями

Биологический метод борьбы с болезнями и вредителями и его основные направления. Генетический и другие новые методы борьбы с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур. Физико-механические методы.

Интегрированная защита растений от болезней и вредителей сельскохозяйственных культур. Карантинные мероприятия.

Сорные растения. Общие сведения о сорных растениях. Понятие о сорных растениях. Вред, приносимый сельскохозяйственному производству сорными растениями. Биологические особенности сорных растений. Эколого-биологическая и агропроизводственная классификация сорных растений. Наиболее злостные засорители посевов. Эффективные методы борьбы с сорными растениями. Агротехнические и химические средства защиты растений. Биологические методы борьбы с сорняками. Роль севооборота в подавлении сорняков и повышение конкурентоспособности культурных растений. Сочетание предупредительных, механических и биологических мер борьбы с сорными растениями. Гербициды. Понятие о гербицидах и перспективы их применения Классификация гербицидов по способу и характеру действия на растительные организмы. Почвенные гербициды. Сроки применения гербицидов. Предпосевное, предвсходовое и послевсходовое внесение. Дозы гербицидов и расход жидкости. Влияние гербицидов на свойства почвы и качество урожая. Остаточное действие и последствие гербицидов. Сочетание агротехнических и химических средств борьбы с сорняками.

Новые технологии возделывания культур широкорядного и сплошного способов сева

Способы сева. Нормы высева для создания оптимальной густоты стояния растений. Перспективные сорта и современные технологии их возделывания. Комплексная оценка лимитирующих факторов, влияющая на продуктивность возделываемых культур. Расчет баланса элементов питания под планируемый урожай. Агрономические особенности возделывания культур широкорядного и сплошного способов сева. Интенсивные технологии возделывания зерновых и крупяных культур, зернобобовых культур, корнеплодов и картофеля, масличных культур, прядильных культур

и кормовых трав на хорошо окультуренных почвах при высокой агротехнике. Составление технологических карт

Технологии возделывания сельскохозяйственных культур на основе адаптивно-ландшафтного земледелия.

Обоснование адаптивно-ландшафтной системы земледелия. История разработки адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Предпосылки для почвозащитного бесплужного земледелия. Влияние адаптивно-ландшафтной системы земледелия на агрофизические свойства почвы. Гумусовое состояние почв как показатель их плодородия. Питательный режим. Агрофизические свойства. Водный режим. Тепловой режим. Воздушный режим. Биологическая активность почвы. Применение прямого и мульчирующего посева при адаптивно-ландшафтной системе земледелия. Влияние адаптивно-ландшафтной системы земледелия на рост и развитие культурных растений. Адаптивно-ландшафтная система земледелия и ее влияние на распространение сорняков, болезней и вредителей. Адаптивно-ландшафтная система земледелия и урожай сельскохозяйственных культур в зависимости от зон возделывания. Основные звенья адаптивно-ландшафтной системы земледелия и ее энергосберегающая роль. Система почвозащитной обработки почвы. Система удобрения. Система защиты растений. Система севооборотов. Система машин и орудий. Экономическая и энергетическая эффективность при адаптивно-ландшафтной системе земледелия. Региональное совершенствование и производственное испытание адаптивно-ландшафтной системы земледелия.

Раздел 4. Энергосберегающие и экологически безопасные мероприятия по повышению плодородия мелиорируемых и эродированных почв.

Культуротехнические мероприятия. Современные методы и способы улучшения свойств и плодородия почвы и её поверхности. Приемы первоначального освоения и окультуривания осушаемых и целинных земель и дальнейшего улучшения старопахотных и естественных луговых угодий.

Значение культуротехнических работ в повышении плодородия сельскохозяйственных угодий. Земли, нуждающиеся в проведении культуротехнических мероприятий, и их характеристика. Классификация культуротехнических работ. Основные требования, предъявляемые к проведению культуротехнических работ: технические свойства поверхности и её новые технологии при освоении торфяно-болотных и заболоченных минеральных почв. Эффективные способы планировки почв. Совершенные технологии при освоении закустаренных земель и земель занятых древесно-кустарниковой растительностью. Описание новых технологий с использованием специальных машин и тракторов. Запахивание древесины, срезка и измельчение на землях поросших кустарником и мелколесьем. Технология с измельчением древесины мелкого и среднего кустарника и заделкой её в почву. Технология освоения с измельчением древесины и её вывозкой. Сплошное глубокое фрезерование торфяно-болотных почв с древесной растительностью, наличием кочек, погребённой древесины и пней. Новые технологии очистки земель засоренных камнями. Создание пахотного слоя почв и его окультуривание.

Повышение плодородия мелиорируемых почв. Роль мелиорации в системе управления почвенным плодородием. Создание принципиально нового водного режима почв.

Приемы повышения плодородия орошаемых почв и улучшения их свойств в аридной зоне. Создание культурно-поливных почв в условиях ирригационного агроландшафта. Современные способы и технологии орошения, обеспечивающие рациональное управление почвенным плодородием. Малообъёмное орошение. Полив сельскохозяйственных культур пресной водой. Пульсирующий, тактный и циклический режимы орошения. Увлажнение биологически активного слоя. Комплекс мероприятий по улучшению мелиоративного состояния земель. Дренаж орошаемых почв – мероприятие, обеспечивающее регулирование водно-солевого режима почв. Типы и виды дренажей. Агромелиоративные

мероприятия (глубокое мелиоративное рыхление, кротовый дренаж, коротование и др.) применяемые на орошаемых землях с целью улучшения свойств почв и их плодородия. Биологический дренаж. Введение травопольных севооборотов с участием люцерны. Использование культуры риса на малопродуктивных засоленных орошаемых почвах.

Улучшение почвенных условий мелиорируемой и прилегающей территории в гумидной зоне, интенсивность мелиоративных воздействий, интенсивность и степень изменения мелиорированных почв.

Улучшение качества проектирования и строительства осушительных систем и приёмов их эксплуатации - как основа повышения переувлажнённых почв.

Приёмы регулирования водного режима осушаемых почв. Норма и степень осушения. Использование совершенных дренажных систем; новые технологии в осушении земель, обеспечивающие сохранение и повышение плодородия почв. Агромелиоративные мероприятия. Выравнивание поверхности. Применение комплекса мероприятий по задержанию поверхностного стока и подпитывания грунтовых вод на водораздельных участках и склонах. Приёмы повышения продуктивности мелиорируемых склоновых минеральных почв и прилегающих к осушительным системам территорий. Агротехнические мероприятия и современные технологии по снижению нежелательного воздействия осушительных мелиораций на плодородие почв. Меры борьбы с ветровой эрозией на торфяниках. Почвозащитные севообороты. Мероприятия, предупреждающие осадку и сработку осушенных торфяных почв. Применение комплекса агротехнических приёмов, тормозящих процесс минерализации органического вещества осушенных торфяных почв. Характер использования осушаемых почв.

Сохранение плодородия почв, подверженных эрозионным процессам. Факторы, оказывающие влияние на проявление эрозии почв. Изменение свойств почв под влиянием эрозии. Способы улучшения эродированных

почв. Технология борьбы с водной эрозией на склоновых почвах. Приёмы борьбы с эрозией почв при снеготаянии. Агротехнические противоэрозионные мероприятия (контурная обработка почв, мульчирование стернёй, замена чистого пара занятым, полосные посевы, почвозащитные севообороты, кротование, щелевание и др.) Агролесомелиоративные противоэрозионные мероприятия (защитные лесные полосы, водорегулирующие лесные полосы, ветрозащитные лесные полосы). Гидротехнические противоэрозионные мероприятия (террасирование валами с широким основанием, разбивка склона на ступени с горизонтальными площадками, сооружения для закрепления оврагов). Организационно-хозяйственные мероприятия.

Мероприятия по борьбе с дефляцией (агротехнические и агролесомелиоративные мероприятия). Восстановление плодородия смытых и дефлированных почв.

Приемы улучшения почв с использованием мелиорантов. Известкование кислых почв. Дозы и технология внесения извести в зависимости от кислотности почв и их свойств. Устранение щелочности на почвах солонцового комплекса. Дозы и технология – внесения гипса в зависимости от щелочности, глубины и мощности солонцового или солонцеватого горизонта, а также свойств почв. Использование комплексных удобрений в качестве мелиорантов для повышения плодородия почв. Виды и формы удобрений и дозы их внесения. Применение фитомелиорантов (сидеральных культур) для улучшения структуры почв и повышения почвенного плодородия. Мероприятия для восстановления, сохранения и улучшения структуры почвы. Внесение искусственных структурообразователей на бесструктурных почвах. Основные требования предъявляемые к синтетическим структурообразователям. Наиболее распространенные структурообразователи (полиакриламиды, препараты серии «К», водно-растворимые полимеры, водные растворы латексов и др.). Дозы, слой оструктурирования и эффективность применения искусственных

структурообразователей. Применения удобрительно-мелиорирующих смесей на основе сапропелей для повышения плодородия малопродуктивных почв. Компонентный состав удобрительно-мелиорирующих смесей, способ приготовления и внесения их в почву. Нормы внесения удобрительно-мелиорирующих смесей. Влияние удобрительно-мелиорирующих смесей на повышение почвенного плодородия и урожайность сельскохозяйственных культур.

Форма контроля знаний студентов.

В ходе освоения данного курса предполагается проведение постоянного мониторинга знаний студентов путём экспресс – тестирования, на лекционных и практических (семинарских) занятиях.

От студентов требуется посещение лекций и семинарских занятий, обязательное участие на семинарах с докладами по темам занятий. Особо оценивается активная работа на семинаре, а также качество контрольных работ.

Для успешной работы в семинаре студент должен изучить методики расчётов, прочесть указанную преподавателем накануне литературу и активность участвовать в дискуссии, уметь изложить основные идеи выполненных рефератов и дать им аргументированную оценку.

Оценка знаний студентов проводится по бально-рейтинговой системе.

Бальная структура оценки:

Посещение занятий – 12 баллов;

Активная работа на семинаре (научные сообщения, решение задач, самостоятельное изучение и освещение дополнительных вопросов курса) – 25 баллов;

Написание рефератов и работа с научной литературой (конспектирование, устные выступления по рефератам) – 13 баллов;

Внутрисеместровая контрольная работа – 20 баллов;

Итоговая контрольная работа - 30 баллов;

Всего – 100 баллов.

Шкала оценок:

А (5, отлично) – 91-100 баллов;

В (4, хорошо) – 76- 90 баллов;

С (3, удовлетворительно) – 56-75 баллов;

Д (2, неудовлетворительно) – 55 баллов и ниже.

Правило выполнения письменных работ: Письменные контрольные работы (рубежные аттестации) проводятся дважды на протяжении семестра в сроки определённые деканатом. Перечень вопросов, выносимых на контрольную работу, даётся за неделю до аттестации. Каждый вариант включает в себя один теоретический вопрос и одну практическую задачу. Время, выделяемое на написание контрольной работы – 2 академических часа.

Результат освоения курса.

Студенты будут знать: теоретические основы регулирования плодородия почв методы и приёмы сохранения, восстановления и повышения почвенного плодородия. Смогут самостоятельно решать поставленные задачи в области воспроизводства плодородия почв. Данный курс будет способствовать подготовке высококвалифицированных кадров сельскохозяйственного производства по высокоэффективному использованию почвенных ресурсов.

Основная литература.

1. Агроэкологические основы воспроизводства плодородия почв. Ижевск: Удмуртия, 1999. -172с.
2. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казанского Университета, 1984, -264с.
3. Декларация второго Всемирного конгресса по сберегающему земледелию, Фоз ду Игуасу, Парана, Бразилия. 11-15 августа, 2003г., 325с.
4. Интенсивная технология возделывания сельскохозяйственных культур / Под ред. Г.В.Коренева – М.: Агропромиздат, 1988 – 301с.
5. Кирюшин В.Ю. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: Из-во МСХА, 2000. -473с.
6. Лыков А.М. Органическое вещество и плодородие почв в интенсивном земледелии. Обзорная информация. М.: ВНИИТЭИСХ, 1984 – 60с.
7. Практикум по тропическому земледелию. М.: УДН, 1987. – 280с.
8. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья / под общей редакцией Н.З. Милащенко. – М.: 1993 – 864с.
9. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов, В.В. Ефремов. – М.: Агропромиздат, 1991 -304с.
10. Томпсон Л.М., Троу Ф.Р. Почвы и их плодородие М.: Колос, 1982.
11. Черников В.А., Милащенко Н.З., Соколов О.А. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. Книга 3. Пущино: ОНТИ НЦБИ РАН, 2001. -203с.
12. Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.Н. Критерии и модели плодородия почв. М.: Агропромиздат, 1987.

Дополнительная литература.

1. Баздырев Г.И. Зотов Л.И. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии. М., МСХА, 1995.
2. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И., Рассадин А.Я., Сафонов А.Ф., Туликов А.М. Земледелие. М, Колос, 2000.
3. Видение прямого посева. Доктор Фридрих Тебрюгге (Юстус-Либиг Университет Гисен), председатель общества по нулевой обработке почвы. 2003г.
4. Володин В.М. Агроэкологические основы регулирования почвенного плодородия. Автореф. дис....д. с-х.н. Минск, 1991. -59с.
5. Довбан К.И. Зелёное удобрение. М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 206с.
6. Захаренко А.В. Гербициды. М.: МСХА, 2000.
7. Карманов И.И. Плодородие почв СССР. – М.: Колос, 19080.
8. Каштанов А.Н. Научные основы современных систем земледелия – М.: Агропромиздат, 1988.
9. Ковда В.А. Паченский Я.А. Почвенные ресурсы СССР, их использование и восстановление – Пушкино: Из-во АН СССР.
10. Комисарова И.Д. Гумификация органического вещества и плодородия почв. Тюмень: ТГСХА, 2003 – 14с.
11. Кузнецов М.С., Демидов В.В. Эрозия почв лесостепной зоны центральной России: моделирование, предупреждение и экологические последствия. М.: Из-во ПОЛТЕКС, 2002 – 184с.
12. Минеев В.Г., Дербещени Б., Мазур Т. Биологическое земледелие и удобрения М.: Колос, 1993. – 415с.
13. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна. М.: Наука, 2006 – 223с.
14. Метод мульчированного посева сахарной свёклы. Развитие и сегодняшнее значение Д-р. Йохим Брунотте, проф. д-р инж. Клаус Зоммер, институт производственной техники и с\х исследований, Брайшвайг 2004.

15. Почвы московской области и повышение их плодородия. М.: Московский рабочий, 1974. – 662с.
16. Стратегия обработки почвы. Отказ от плуга окупает себя. Доклад на третьей Бернбургской агрономической конференции в Штрэнфельде Д-р Йоахим Бишофф и д-р Роланд Рихтер из вновь созданного института сельского хозяйства и садоводства (ИСХС). 2004г.
17. Увеличение биологической активности в почве с помощью сберегающего земледелия: Отношение к почве как к живому организму (Джил Клапперон: Исследовательский центр в г. Лесбридж (Канада), 2004г. – 186с.
18. Черемисинов Г.А. Эродированные почвы и их продуктивное использование М.: Колос, 1968. – 215с.
19. www.mps-group.ru
20. www.eurotechnika.ru.