

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра агрохимии и
физиологии растений

**ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Ставрополь
«АГРУС»
2019

УДК
ББК

П

Авторский коллектив:

Устименко Е.А. - к.с.-х.н., доцент; Есаулко А.Н. – д.с.-х.н., профессор РАН; Голосной Е.В. – к.с.-х.н., доцент; Коростылев С.А. - к.с.-х.н., доцент; Агеев В.В. - д.с.-х.н., профессор; Сигида М.С., к.с.-х.н., доцент; Громова Н.В. – ст. преподаватель; Ожередова А.Ю. – ассистент; Лобанкова О.Ю. - к.б.н., доцент; Гречишкина Ю.И. - к.с.-х.н., доцент; Беловолова А.А. - к.с.-х.н., доцент; Воскобойников А.В. - к.с.-х.н., доцент; Подколзин А.И. - д.б.н., профессор; Сычѳв В.Г. – д.с.-х.н., профессор; Куценко А.А. - к.с.-х.н., доцент; Олейников А.Ю. - к.с.-х.н., доцент.

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Г.Р. Дорошко;
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
В.С. Цховребов

Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: учебное пособие / Устименко, Е.А., Есаулко А.Н., Голосной Е.В. и др. – Ставрополь : АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2019. – 178 с.

В учебном пособии освещены особенности программирования урожайности сельскохозяйственных культур. Затронуты вопросы методологии проектирования компьютерных систем поддержки решений в агрономии, представлены данные по прогнозированию и программированию урожая сельскохозяйственных культур на основе балансовых моделей. В пособии описаны практические работы на основе математико-статистических методов.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений по направлению 35.03.04 «Агрономия», профиль «Агрономия», «Защита растений», «Плодоовощеводство», выполняющих практические занятия по дисциплине: «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур» в соответствии с Государственным образовательным стандартом третьего поколения и программами бакалавриата, а также магистров, аспирантов и специалистов агропромышленного комплекса.

УДК
ББК

ФГБОУ ВО Ставропольский государственный
аграрный университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ «ПРОГРАММИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР», ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ	9
ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	14
2.1. Принципы программирования урожаев сельскохозяйственных культур	14
2.2. Планирование, прогнозирование и программирование урожаев	21
2.3. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур	23
2.4. Уровень урожайности при программировании	23
2.5. Основы программирования урожая	24
ГЛАВА III. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ	28
3.1. Комплекс метеорологических факторов, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур	28
3.2. Вероятность неблагоприятных явлений в районах интенсивного земледелия и учет их при программировании урожая	31
3.3. Фотосинтетическая активная радиация (ФАР), ее роль в формировании урожая. Методы расчета и обеспеченность ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей	34
3.4. Определение урожайности по фотосинтетическому потенциалу листьев	36
3.5. Использование прогнозов погоды для программирования урожаев и корректировки программы в процессе ее осуществления	38
ГЛАВА IV. АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ	41

4.1. Определение понятия модели. Классификация моделей	43
4.2. Оптимизационные модели	48
4.3. Прогнозирование и программирование урожая на основе балансовых моделей	50
4.4. Моделирование плодородия почвы	52
4.5. Определение понятия плодородия почвы и количественная оценка уровня почвенного плодородия	53
4.6. Оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв	58
4.7. Моделирование содержания гумуса в почве	60
4.8. Моделирование содержания подвижных питательных веществ в почве	66
4.9. Прогнозирование фосфатного потенциала почвы	69
4.10. Прогнозирование калийного потенциала почвы	74
4.11. Прогнозирование реакции почвенного раствора	79
ГЛАВА V. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАПЛАНИРОВАННОЙ УРОЖАЙНОСТИ	82
5.1. Оптимизация процессов фотосинтеза	82
5.2. Структура посевов планируемой урожайности	83
ГЛАВА VI. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ УРОЖАЕВ	86
6.1. Агротехнические условия получения планируемой урожайности	86
6.2. Технологические основы программирования урожая	88
6.3. Организационно-технические мероприятия, способствующие получению программируемой урожайности	91
ГЛАВА VII. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НОРМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЗАПЛАНИРОВАННУЮ УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	93
7.1. Расчёт по нормативному методу	103
7.2. Расчётно-балансовый метод	113
7.3. Расчёт с учётом оптимизации показателей плодородия почв	118
7.4. Компьютерные методы расчета норм (доз) удобрений	123
ГЛАВА VIII. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	130

1.Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов (4 часа)	130
2. Расчет возможной урожайности по тепловым ресурсам (2 часа)	135
3. Расчет возможных урожаев по величине биоклиматического потенциала (2 часа)	136
4. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы (4 часа)	137
5. Программирование урожайности полевых культур (4 часа)	140
6. Программирование урожая на основе математико-статистических методов (4 часа)	144
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»	148
ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ С ОЦЕНКОЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»	150
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ (ГЛОССАРИЙ)	155
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	163
ПРИЛОЖЕНИЕ	165

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно, когда речь заходит об сельскохозяйственном производстве, об программировании урожаев, прежде всего имеют ввиду роль агрономии. Ее основу составляет многолетний опыт, закрепленный в законах и традициях практического земледелия и обобщенный в многочисленных инструкциях, методических указаниях и технологических картах. Современная агрономия - это с одной стороны, наука о путях получения урожая в результате мобилизации знаний о системе "почва-растение-деятельный слой атмосферы", а с другой совокупность агротехнологических приемов осуществляемых на различных временных уровнях в конкретных почвенно-климатических условиях, обеспечивающих получение урожая. Комплекс научно-обоснованных агротехнологических приемов (операций) дифференцированных по природным и экономическим параметрам способствуют достижению двуединой цели - получение высокой продуктивности посевов и устойчивого функционирования производства с одновременным воспроизводством почвенного плодородия и экологической чистоты сельскохозяйственной продукции.

Проблема обеспечения населения продуктами питания и продовольствием решается, главным образом, за счет дальнейшего повышения продуктивности пашни. Этому способствует направление в агрономической науке «Программирование урожаев». В основе данного предмета лежит требование удовлетворения потребностей растений в жизненно важных ресурсах для формирования урожая заданного качества.

Программирование урожая – это разработка комплекса взаимосвязанных мероприятий, своевременное и качественное выполнение которых обеспечивает получение рассчитанного уровня урожайности сельскохозяйственных культур заданного качества при одновременном повышении плодородия почвы и удовлетворения требований охраны окружающей среды.

Математическое программирование урожаев – это определение продуктивности земли по почвенно-климатическим ресурсам и разработка интенсивных технологий возделывания, обеспечивающих

наиболее полное использование генетического потенциала гибридов и сортов сельскохозяйственных культур.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР – предполагает развитие интегрированного метода оценки роли и значимости различных факторов среды и их взаимодействие в процессе формирования урожая с целью принятия оптимальных хозяйственных решений.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР опирается на достижение большинства смежных наук: физиология растений, земледелие, растениеводство, почвоведение, агрохимия, метеорология, агрофизика, математика, экономика, статистика, кибернетика.

Основная цель **ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР** состоит в том, чтобы перейти к широкому использованию в агрономии количественных моделей и ЭВМ, которые позволят быстро обрабатывать большую информацию о факторах, влияющих на рост растений и рекомендовать оптимальный вариант агромероприятий, направленных на получение запрограммированных урожаев.

Основные задачи **ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**:

- по заблаговременно составленной программе рассчитать продукционный процесс растений с учетом физико-географических, почвенно-климатических, экономических условий зоны и биологических особенностей растений;
- достижение максимального урожая высокого качества с низкой себестоимостью при минимальных затратах труда, времени, материально-технических и других ресурсов;
- на основе многофакторных полевых экспериментов и методов математического программирования воспроизвести характер взаимодействия основных факторов в процессе формирования урожая в форме модели;
- математическое моделирование и разработка программ для ЭВМ;
- модель воплотить в технологические карты возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте;

- практическое применение разработанной программы в производственных условиях и уточнение исходных функциональных моделей программирования урожая.

В учебном пособии акцентировано внимание на методиках расчета возможных урожаев по влагообеспеченности посевов, по тепловым ресурсам, по величине биоклиматического потенциала, по агрохимическим показателям почвы и на основе математико-статистических методов.

Процесс изучения дисциплины и разработанное на основе рабочей программы учебное пособие направлено на формирование знаний, умений, навыков, являющихся компонентами соответствующих профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

- способностью рассчитать дозы органических и минеральных удобрений на планируемый урожай, определить способ и технологию их внесения под сельскохозяйственные культуры;

- способностью использовать агрометеорологическую информацию при производстве растениеводческой продукции.

По окончании изучения дисциплины студент должен знать:

- почвы, их агрохимические характеристики, основы питания растений, способы и технологии внесения удобрений, виды и формы минеральных и органических удобрений, основы их рационального использования;

- функционально-аппаратные и программные средства, многоуровневую организацию информационных потоков, операционные среды и программные взаимодействия, эксплуатацию информационных технологий в агрономии, понятия о моделировании, классификацию моделей, этапы моделирования, модели посева, агрофитоценоза, методику проектирования современных технологий возделывания культур.

Уметь:

- обосновать и применять рациональную систему удобрений в севооборотах; проводить расчет доз органических и минеральных удобрений под планируемый урожай, использовать результаты в практической деятельности;

- формировать с использованием современных информационных технологий базу данных и ее интерпретировать, разрабатывать модели и проекты агротехнологий на различную продуктивность сельскохозяйственных культур.

Владеть:

- навыками в составлении рациональной системы удобрений в севооборотах; организации выполнения намеченной системы удобрений; расчетах доз минеральных и органических удобрений;

- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками сбора методов и средств решения задач исследования, приемами планирования, реализации необходимых видов деятельности; методами исследований в области сельского хозяйства.

Учебное пособие предназначено для использования при подготовке бакалавров по направлению 35.03.04 «Агрономия», профиль: «Агрономия», «Защита растений», «Плодоовощеводство», выполняющих практические занятия по дисциплине: «Программирование урожаев сельскохозяйственных культур» в соответствии с Государственным образовательным стандартом третьего поколения и программами бакалавриата.

ГЛАВА I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ «ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР», ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Приоритет метода программирования принадлежит нашей стране. Первые целенаправленные опыты по получению заранее рассчитанных урожаев проведены в 30-х годах прошлого века известным селекционером-картофелеводом Л.Г. Лорхом, а также М.С. Савицким. Суть разработанных программ заключалась в том, что они полностью соответствовали биологическим особенностям роста и развития растений.

Г.Г. Лорх, подробно изучив динамику накопления сухого вещества картофеля, разработал график его нарастания и в соответствии с ним регулировал питание, водоснабжение, углекислотный обмен. В результате сбор клубней составил 528 ц/га. В дальнейшем, основываясь на этих опытах, Л.Г. Лорх довел сбор клубней с гектара до 700 ц.

Несколько иной была система решения поставленной задачи у М.С. Савицкого. Он заранее составил структурную формулу урожая, включающую густоту стояния растений, число продуктивных стеблей, колосьев, зерен в колосе, массу 1000 зерен. Затем была рассчитана доза удобрений и потребность в воде.

Руководствуясь структурной формулой, как рабочей гипотезой для синтеза урожая, намеченная его величина практически была получена. Урожайность озимой пшеницы сорта Московская 2411 в опыте составила 99,8 ц/га при запрограммированных 100 ц/га.

В 70-е годы в СССР сформировались несколько крупных центров в этой области и ими были достигнуты значительные успехи: Тимирязевская МСХА, институт почвоведения и фотосинтеза, Волгоградский сельскохозяйственный институт, агрофизический институт в Ленинграде, Горский СХИ и другие. Активно участвовали в программировании урожайности ученые нашего университета: озимой пшеницы (Шахзадов Н.М.), озимого ячменя (Портуровская С.П.), сельскохозяйственных культур в различных почвенных условиях в орошаемых и неорошаемых 6-9 полевых севооборотах (Агеев В.В.), и ими были достигнуты положительные результаты.

Наиболее активно внедрялись интенсивные технологии с элементами программирования урожая в хозяйствах Северного Кавказа и Нижнего Поволжья: если в 1978 году по соответствующим программам сельскохозяйственные культуры возделывались на площади 850 тыс.га, то в 1984 году достигли почти 4 млн.га.

Важные теоретические разработки по повышению фотосинтетической продуктивности полевых растений были выполнены под руководством А.А. Ничипоровича; К.П. Афендулов в условиях Украины обосновал рекомендации по рациональному применению удобрений под планируемый урожай, которые применялись на площади около 5 млн.га.

В Латвийском НИИ земледелия и экономики сельского хозяйства разработана информационно-вычислительная система "почва - урожай". Она состоит из банков данных, постоянно пополняющихся детальной информацией о плодородии почв, истории полей, урожайности всех основных культур, выносе с урожаем питательных веществ из почвы, содержании в органических удобрениях элементов питания и т.д. С целью уменьшения количества хранящихся данных многие нормативы заданы в виде функциональных зависимостей. Для составления банка данных и нормативов использованы все доступные источники информации: данные агрохимического обследования почв, полевых опытов, рекомендации лучших хозяйств и др. Рекомендации по применению удобрений составляются с помощью ЭВМ практически для всех хозяйств Латвии.

Коллективом авторов ЮжНИИГиМ и научно-исследовательских учреждений Северного Кавказа (Кан, Бурдюгов, Балакай и др., 1985) создана региональная система программирования урожаев, основанная на алгоритмах планирования агрокомплекса (АПА). С помощью этих алгоритмов специалист хозяйства на основе доступных данных о состоянии поля может спланировать агрокомплекс, учитывающий индивидуальные особенности поля, технические возможности хозяйства, прогноз метеоусловий. АПА содержит правила в разных формах: в виде выраженного словами логического условия, формулы, таблицы. Если в зоне действует служба программирования урожаев, располагающая математическими моделями культур, расчеты выполняются вычислительным центром. При этом качество

планирования повышается. Опыт широкого применения этого метода в хозяйствах Северного Кавказа показал, что своевременное и качественное выполнение всего комплекса агротехнических мероприятий обеспечивает получение 60 ц/га озимой пшеницы, свыше 40 — зерна кукурузы, 600 ц/га — зеленой массы многолетних трав и кукурузы на силос.

Координацию исследований по программированию урожаев в нашей стране осуществлял академик И.С.Шатилов, который обосновал экологические, биологические, агротехнические условия программирования урожаев. Защитив в 1947 году кандидатскую диссертацию, он стал ассистентом, а через 3 года получил должность старшего научного сотрудника на полевой станции академии. В 1956 году И.С.Шатилова назначили доцентом, а в январе 1961 года - проректором Мичуринской академии по научно-исследовательской работе.

Во времена "Лысенковского процесса" Иван Семенович, будучи уже ректором сельхозакадемии, принадлежал к числу ученых, составлявших оппозицию Хрущеву и Лысенко, по своему неведению предлагавших провести необратимые и пагубные для всего сельского хозяйства мероприятия в области агрономии. По личным признаниям Шатилова, он в те времена "спал с открытыми глазами", чувствуя грозившую ему опасность: как ректор академии, он отказался визировать план, по которому предполагалось разделить старейший сельскохозяйственный институт страны, обладающий колоссальной научно-исследовательской базой, на отдельные институты, организованные на основе факультетов в различных областях СССР.

В 1967 году докторская диссертация Ивана Шатилова была признана Высшей аттестационной комиссией лучшей работой по сельскому хозяйству. К тому времени Иван Семенович уже 3 года являлся вице-президентом Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени Ленина и председателем Всероссийского отделения ВАСХНИЛ.

Не раз выдающегося ученого приглашали на международные конференции и съезды, посвященные сельскому хозяйству. На всемирном конгрессе по увеличению производства зерна, проходившем

в 1970 году в Дрездене, Иван Шатилов поразил ученую общественность докладом на тему "О программировании высоких урожаев".

В 2000 году в Кембриджском университете проходил международный съезд ученых, на котором имя Шатилова было названо в числе 130 выдающихся исследователей. За свою трудовую жизнь Иван Семенович подготовил около 400 научных работ в виде монографий и публикаций в отраслевых журналах; является соавтором учебника растениеводства для сельскохозяйственных вузов. Являлся руководителем 17 докторских диссертаций, многие из которых уже стали академическими; на базе опытных станций организовал 9 научно-исследовательских институтов, ряд из которых функционируют до сих пор.

Параллельно во многих странах Западной Европы ученые работы в технологиях, которые позволяли бы экономично и эффективно использовать каждый гектар пашни. Были созданы научно-исследовательские центры различного профиля в Голландии (разработка количественных моделей продукционного процесса), Великобритании (институт тепличных культур), на Филиппинах, в Мексике, Перу, Колумбии, Индии, Нигерии, в США.

Предпосылки для создания ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

1. Достижения научно-технической революции в области физиологии растений, микробиологии, агрохимии, мелиорации земель, селекции современных высокоинтенсивных сортов, создание новых видов и форм удобрений – послужили основой для разработки рекомендаций по интенсивным технологиям возделывания сельскохозяйственных культур. Успехи в трансгенетике и кибернетике доказали необходимость создания различных моделей.

2. Совершенствование материально-технической базы – развитие химической промышленности (производство минеральных удобрений, средств защиты растений), машиностроение (трактора, сельскохозяйственные машины, комбайны), электронная промышленность (компьютеры, интернет).

3. Демографическая ситуация - общее число людей, живущих на Земле, достигло в июне 2018 года 7,6 млрд. человек, По данным ООН за чертой бедности находится 1,2 млрд. человек. Их расходы на

пропитание не превышают 1\$ в день. Около 30% детей испытывают хронический голод. Как следствие в мире каждые 7 секунд от недоедания умирает один ребенок. Если проблему отсутствия еды не устранить, то это может приводить к возникновению новых вооруженных конфликтов. Голодающие люди в мире отчаянно пытаются выжить. Практика ряда африканских стран показывает, что люди пойдут на все, чтобы не умереть от голода. В ближайшие два десятилетия придется дополнительно произвести продукции для питания 1,5 млрд. человек. Чтобы избежать трагедии, мировой сбор пшеницы должен вырасти на 40 %, а кукурузы на 45 %. Это может быть достигнуто только на основе интенсификации земледелия, так как в мире практически не осталось неосвоенных крупных массивов земель, пригодных для ведения земледелия.

ГЛАВА II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

2.1. Принципы программирования урожаев сельскохозяйственных культур

Многолетние экспериментальные исследования и обобщение результатов работ по фотосинтезу, минеральному питанию, водному режиму, продуктивности растений в посевах, использованию посевами ФАР для формирования урожаев позволили академику И.С. Шатилову (1970) обосновать экологические, биологические и агротехнические основы программирования урожаев. Им предложены десять принципов программирования.

Первые пять принципов предназначены для определения величины возможного урожая на основе:

- 1) биоклиматических показателей;
- 2) прихода ФАР и использования ее посевами;
- 3) определения потенциальных возможностей культуры или сорта применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям;
- 4) фотосинтетического потенциала посевов;
- 5) всестороннего учета и правильного применения основных законов и закономерностей земледелия и растениеводства;

Остальные принципы составляют технологическую схему программированного возделывания культур:

- 6) разработка системы удобрения с учетом эффективного плодородия почвы и потребности растений в питательных элементах, обеспечивающих получение запрограммированного урожая высокого качества;
- 7) разработка комплекса агротехнических мероприятий для каждой культуры, направленных на получение запрограммированных урожаев;
- 8) обеспечение оптимальной влагообеспеченности посевов;
- 9) разработка конкретных мер по борьбе с болезнями и вредителями растений;

10) использование ЭВМ для определения оптимального варианта агротехнических комплексов, обеспечивающих получение высокого урожая.

Первый принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы определить биогидротермический показатель продуктивности фитомассы по приходу радиации, продуктивной влаги, сумме температур и продолжительности периода вегетации для конкретной географической зоны или даже на различных полях хозяйства. Гидротермический показатель — совокупность двух метеофакторов — теплового и влажностного, которые определяют размеры и качество урожая.

Известно, что на земном шаре колебания в урожайности биомассы достигают от 2—3 (аридные районы) до 500 ц/га во влажных тропиках. Биогидротермический показатель позволяет определить количество биологической массы, которое может быть получено в конкретной местности

Второй принцип программирования урожаев заключается в том, что его уровень определяется по коэффициенту использования растением фотосинтетически активной радиации (ФАР). Каждый килограмм сухой органической массы в среднем аккумулирует 4 тысячи ккал (с небольшим различием по видам). Зная приход ФАР за период вегетации, можно поставить задачу усвоения (накопления) культурными растениями, например 2 или 3% ФАР, а на основе этого показателя определить потенциальную урожайность культуры (сорта).

А. А. Ничипорович отмечает, что посевы сельскохозяйственных культур по использованию ФАР можно разделить на следующие группы: обычные — 0,5—1,5%, хорошие — 1,5—3,0%, рекордные — 3,5—5,0% и теоретически возможные — 6—8%. В орошаемых условиях при непрерывном использовании пашни посредством сочетания основных и промежуточных культур в севооборотах теоретические параметры становятся практическими.

В период быстрой интенсификации земледелия проблема повышения фотосинтетической деятельности посевов приобрела особое значение. Биологи различных стран, обсуждая проблему увеличения производства зерна и другого продовольствия, пришли к выводу, что необходимо, применительно к различным почвенно-климатическим

зонам планеты, разработать приемы и методы агротехники, вывести сорта, которые при высокой агротехнике обеспечивали бы использовали не 2- 3%, как в настоящее время, а 4-5% ФАР, приходящейся на единицу поверхности за весь период вегетации.

В научных центрах России и других стран продолжают глубокие исследования, направленные на разработку приемов и способов, обеспечивающих усвоение посевами 3% и даже 5% ФАР за период со среднесуточными температурами выше 10°C. В этом случае ПУ биомассы (сухая масса, ц/га) может составить для широты Петербурга – 250, Москвы – 312, Ставрополя – 410, Арзгира - более 500.

В настоящее время таких урожаев пока не получают и приведенные расчеты являются постановочными на перспективу. Здесь перед сельскохозяйственной наукой возникает ряд крупных проблем, которые необходимо интенсивно изучать.

Одним из центральных является вопрос об изменении почвы в связи с систематическим применением высоких доз удобрений. Получение высоких урожаев, конечно, связано с оптимизацией условий водоснабжения. Многочисленные экспериментальные данные по минеральному питанию, водному режиму, чистой продуктивности фотосинтеза и агротехнике дают возможность разработать такой комплекс мероприятий, который обеспечивает усвоение посевом заданного количества ФАР и получение запланированного урожая.

Третий принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы определить потенциальные возможности культуры или сорта применительно к условиям, где предполагается возделывать культуру или сорт. Эти данные можно получить путем непосредственного эксперимента или использовать характеристики сорта по результатам сортоиспытания. Известно, что растения с высоким и ярусным расположением листьев способны лучше использовать солнечную энергию. В пределах вида – сорта, которые характеризуются острым углом отхождения листьев от стебля, растения лучше поглощают солнечную радиацию, чем те, у которых этот угол близок к прямому (пшеница, рис).

Четвертый принцип программирования урожаев заключается в том, чтобы на поле, занятом растениями, сформировать такой фотосинтетический потенциал (ФП), который будет способен обеспечить

запрограммированный уровень урожайности. Например, в условиях Ставрополя (45 параллель) каждая тысяча единиц фотосинтетического потенциала обеспечивает получение 2,5—3 кг зерна. Для получения 5,0—5,5 т зерна озимой пшеницы необходимо сформировать ФП, равный 2,0—2,5 млн. кДж/га.

Фотосинтетический потенциал неразрывно связан с чистой продуктивностью фотосинтеза, характеризующей производительность работы площади листьев. Средняя чистая продуктивность фотосинтеза составляет 4-7 г м²/сут. Чем выше чистая продуктивность фотосинтеза, тем выше урожайность культуры. По данным ученых Болгарии на орошаемых землях для урожая зерна кукурузы в 100 ц/га необходимо сформировать фотосинтетический потенциал, равный 3,0—3,3 млн. единиц.

Пятый принцип программирования урожаев состоит в необходимости правильно применять законы земледелия и растениеводства.

Урожайность – величина интегральная. Она обуславливается как биологическими особенностями, так и условиями выращивания культуры. При программировании урожаев необходимо руководствоваться следующими **основными законами земледелия и растениеводства**:

1) **Закон равнозначности, или незаменимости, факторов.** Для нормальной жизнедеятельности растений исключение какого-либо даже незначительного фактора не может быть ничем компенсировано.

2) **Закон ограничивающего фактора, или закон минимума.** Любые дополнительные затраты в земледелии без учета фактора находящегося в минимуме, не могут дать должного эффекта. Закон минимума определяет систему земледелия, способы обработки почвы, проведение работ по мелиорации земель и т. д.

3) **Закон возврата.** Для поддержания плодородия почвы в нее необходимо вносить питательные элементы, потребляемые растением на создание урожая. Правильно определенные дозы дополнительно вносимых удобрений способствуют повышению плодородия почвы.

4) **Закон оптимума, или закон совокупного действия факторов.** Наивысшую продуктивность растений обеспечивает только оптимальное соотношение ряда факторов, различных в каждой зоне. С

учетом конкретных условий необходимо планировать системы удобрений, сроки сева, нормы высева семян и т. д.

5) **Закон плодосмена.** При прочих равных условиях урожаи более высоки в севообороте, чем при повторных посевах или монокультуре. Но при этом необходимо учитывать, что эффективность плодосмена различных культур неодинакова.

6) **Закон критического периода** полевых культур по отношению к фосфору. Если культура в начале развития перенесла фосфорное голодание, то высокий урожай зерна даже при хорошей обеспеченности фосфором в последующий период сформироваться не может.

7) **Закон физиологических часов.** В зависимости от долготы дня и интенсивности освещения, растения ускоряют или замедляют свое развитие. У растений короткого дня период вегетации в условиях длинного дня удлиняется, а у растений длинного дня, наоборот, сокращается.

8) **Закон регуляторной системы растений.** Наивысший урожай можно получить лишь в том случае, если условия среды соответствуют требованиям растений, т. е. характеру внутренних процессов, обусловленных генотипом. Районирование культур построено на учете наличия у растений регуляторной системы. Успехи современной физиологии растений позволяют надеяться, что такие приемы, как поливы и подкормки, будут проводиться по сигналам, поступающим от растений.

Шестой принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы разработать систему удобрений с учетом эффективного плодородия почвы и потребности растений в питательных веществах, обеспечивающих получение планируемого урожая высокого качества. Для успешного выполнения этой задачи необходимы точные сведения о поступлении питательных веществ в растения по фазам развития и их распределении по отдельным органам растения. Количество же питательных веществ в почве в каждом поле хозяйства определяет агрохимическая служба. При разработке системы удобрения встречаются три возможных случая:

1) получение более высоких урожаев при внесении небольших доз удобрений с одновременным обеднением почвы питательными веществами;

2) получение сравнительно высоких урожаев и поддержание уровня эффективного плодородия почвы на исходном уровне;

3) получение предельно возможных урожаев для данного сорта в конкретной местности при одновременном повышении эффективного плодородия почвы.

Полевые опыты, проведенные кафедрой агрохимии СтГАУ в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края, показали перспективность применения расчетного метода определения доз удобрений для получения запрограммированного уровня урожайности сельскохозяйственных культур в севообороте.

Седьмой принцип программирования урожаев — разработка комплекса агротехнических приемов исходя из специфических требований культуры и сорта. Успехи селекции последних лет определили разработку сортовой агротехники, так как новые сорта характеризуются иным ходом поступления питательных веществ и более экономным расходованием влаги на формирование урожая. Существующие сорта многих культур при увеличении плотности посева и размеров листовой поверхности снижают чистую продуктивность фотосинтеза в связи с затенением нижнего яруса листьев, ухудшением воздухообмена, а следовательно, и ухудшением снабжения листьев углекислотой. В результате снижается эффективность внесения высоких доз удобрений и орошения.

Поэтому во многих странах мира ученые разных специальностей разрабатывают модели растений, способных аккумулировать 5 процентов и более приходящей фото синтетически активной радиации. Например, обсуждается модель растения кукурузы высотой 30—33 см, на котором должен сформироваться один початок длиной 5—7 см и диаметром 2—3 см. Такую кукурузу предполагают (в случае ее создания) высевать сплошным способом, убирать обычным комбайном и получать 200 и более ц/га сухого зерна. Ведется работа и в противоположном направлении — по созданию многопочатковой кукурузы. Высказывается мнение о целесообразности создания пшеницы с мощным стеблем, содержащим много хлорофилла, но без листьев.

Для реализации потенциальных возможностей новых сортов необходимо знать их биологические и физиологические особенности и на основе этого строить агротехнику.

Восьмой принцип программирования урожаев заключается в том, чтобы в орошаемом земледелии обеспечивать потребность растений в воде в оптимальных размерах, а в богарных условиях определять уровень урожайности исходя из сложившихся климатических условий. Этот принцип основан на научной разработке режимов орошения с учетом обеспечения оптимальной влажности почвы. В умеренной зоне на образование 1 кг зерна требуется 1 т воды.

Для большинства культур оптимальной влажностью почвы считается 65—80% от наименьшей влажности. В условиях неорошаемого земледелия представляется возможным определить вероятный водный режим растений на основе метеоданных и по ним рассчитывать водный баланс и уровень урожайности. Конечно, при существующих изменениях погодных условий будут наблюдаться колебания в уровне урожайности.

Девятый принцип программирования урожаев состоит в том, чтобы обеспечить выращивание здоровых растений исключив отрицательное влияние на их рост и урожайность болезней и вредителей.

Накопление достоверных экспериментальных данных по получению заранее рассчитанной урожайности позволит подойти к математическому моделированию программирования урожайности.

Десятый принцип программирования урожаев предусматривает использование математического аппарата для определения оптимального варианта комплекса агроприемов, выполнение которого обеспечит получение планируемого урожая.

По мере накопления фактов будут сформулированы новые принципы и отброшены устаревшие. Повышение культуры земледелия, выведение новых сортов, создание более эффективных форм удобрений, несомненно, в будущем приведет к получению и более высоких урожаев.

Ф. Энгельс писал «Производительная сила, находящаяся в распоряжении человечества, беспредельна. Урожайность земли может быть бесконечно повышена приложением капитала, труда и науки» (Маркс К., Энгельс Ф., Соч. Т. 1, с. 563). Опыт мирового земледелия подтвердил правильность этих положений.

2.2. Планирование, прогнозирование и программирование урожая

Программирование урожая следует отличать от прогнозирования и планирования. Программирование подразумевает только решающие факторы, влияющие на формирование урожайности: удобрения, технологию возделывания, орошение, сорт, защиту растений от болезней, вредителей, сорняков и полегания. Разработка проблемы программирования во всей ее сложности возможна в будущем при накоплении большего объема сведений о продукционном процессе формирования урожая, как в количественном, так и в качественном отношении.

Планирование урожая — как правило, осуществляется от достигнутого уровня с использованием желаемых показателей роста продуктивности растениеводства на ближайший период и рассматривается как первый этап программирования. Он базируется на среднестатистических данных по урожайности в данном хозяйстве или на данном поле за много лет с превышением последнего на величину, ожидаемую от изменения уровня агротехники, механизации и организации труда, а также конъюнктуры рынка страны в продуктах питания и промышленности в сырье.

Планирование решает долгосрочные (связанные с перспективами развития), текущие (затрагивающие процессы в период одного года) и оперативные (реализуемые на каждом этапе формирования урожая) задачи.

Прогнозирование представляет собой расчет теоретически возможного нарастания урожая, обеспечиваемого климатическими, почвенными и материально-техническими ресурсами. Оно дает возможность предсказать конечный результат по возделыванию культуры в определенных почвенно-климатических условиях. Цель прогнозирования — дать научное обоснование величины урожая при разработке планов производства сельскохозяйственной продукции.

Прогнозирование урожая — это научно обоснованное предсказание продуктивности сельскохозяйственных культур на ряд лет или на перспективу. При использовании метода корреляционно-регрессионного анализа в прогнозировании урожая пользуются линейной формой уравнения:

$$Y = a + vx$$

где Y — средний урожай в году, ц/га;

a — свободный член уравнения,

v — коэффициент регрессии,

x — фактор времени.

При программировании, кроме научного прогноза величины и качества урожая, заранее намечается предстоящий ход его формирования, то есть рост и развитие растений по этапам органогенеза или фазам роста и развития. При этом целенаправленно осуществляется оптимизация основных факторов формирования урожая.

Программирование урожая — это научно обоснованное прогнозирование поэтапного его формирования, оптимизация основных факторов роста и развития и управление процессом формирования урожая на основе априорной и оперативно текущей информации, быстро обрабатываемой на компьютерах по специальным программам. При программировании урожайности сельскохозяйственных культур необходимо иметь соответствующие математические (функциональные) модели, надежные машинные программы для ЭВМ, заданные режимы технологии возделывания сельскохозяйственных культур, владение навыками пользования ЭВМ для оперативного определения требуемых агротехнических приемов для получения программируемой урожайности.

Программирование урожаев — это определение продуктивности почвы по почвенно-климатическим ресурсам и разработка интенсивных технологий возделывания, обеспечивающих наиболее полное использование генетического потенциала сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

Следовательно, программирование урожаев предусматривает полную реализацию потенциальной продуктивности сорта при оптимизации основных факторов жизнедеятельности растений в регулируемом земледелии и рациональное использование ресурсов климата и почв при условии лимитирования продуктивности посевов каким-нибудь фактором.

2.3. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур

В настоящее время существуют следующие методы расчета урожайности:

- метод экстраполяции сложившихся закономерностей;
- биологические методы;
- методы, основанные на использовании обобщенных агроклиматических ресурсов: влагообеспеченности посевов, ФАР, биоклиматического потенциала;
- методы по качественной оценке почв (бонитировка) и агрохимических показателям;
- математико-статистический метод (регрессионные модели количественных связей урожая с факторами, обеспечивающими его);
- оптимизационные модели;
- имитационные модели;
- детерминистические модели;
- стохастические модели;
- динамические модели;
- статистические модели;
- методы, основанные на автоматизированной системе управления техническими процессами в земледелии.

2.4. Уровень урожайности при программировании

Программирование урожайности начинается с обоснования величины возможного урожая, на который необходимо ориентироваться. Урожай формируется в процессе фотосинтеза. Уровень урожайности зависит от биологических свойств культуры или сорта, количества прихода ФАР, количества элементов питания в почве, уровня агротехники и метеорологических условий.

При программировании урожая любой сельскохозяйственной культуры обычно определяют три уровня урожайности: 1) потенциальный урожай (ПУ) — по приходу фотосинтетически активной радиации; 2) действительно возможный урожай (ДВУ) — по биоклиматическим показателям и условиям влагообеспеченности;

3) урожай в производстве (УП) — уровень урожайности, получаемый в производстве.

Потенциальный урожай (ПУ) — это теоретически возможный максимальный урожай, который можно получить в идеальных метеорологических условиях (достаточно воды, тепла, света). Он зависит от прихода ФАР и потенциальной продуктивности культуры или сорта.

Действительно возможный урожай (ДВУ) — это максимальный урожай, который может быть получен при реальных среднесезонных климатических условиях. На основании обобщения результатов многолетних опытов установлено, что ДВУ составляет 60—80% ПУ.

Урожай в производстве (УП) значительно ниже ДВУ. Это объясняется тем, что ФАР и метеорологические условия максимально не используются для формирования урожая. Причины этого — неудовлетворительный прогноз погоды, недостатки в агротехнике и организации производства, наличие болезней, вредителей и сорняков в посевах сельскохозяйственных культур.

Основная задача программирования урожаев — приближение УП к ДВУ и ДВУ к ПУ. Программирование урожаев должно быть направлено к осуществлению следующих переходов: УП-ДВУ-ПУ. Для этого необходимо провести мероприятия по улучшению согласованности потребностей растений с условиями внешней среды, при этом следует иметь в виду и экономическую эффективность проводимых мероприятий.

Качество программирования урожая в производстве следует оценивать не по абсолютному значению полученного урожая, а по разности между ДВУ и УП. Эта разность является величиной урожая, недополучаемого из-за неполного использования потенциальных возможностей повышения урожая. Эффективность программирования урожая тем выше, чем меньше разность между ДВУ и УП, т. е. меньше недобор урожая. В идеальном случае УП должен быть равен ДВУ.

2.5. Основы программирования урожаев

Повышение культуры земледелия, выведение качественно новых сортов, разработка интенсивных технологий возделывания полевых культур и другие достижения в области агрономической науки, а также накопление исходных данных о взаимосвязи с различными факторами роста и развития растений позволили сформулировать новые принципы

программирования урожаев: физиологические, биологические, агрохимические, агрофизические, агрометеорологические и агротехнические. Такое разделение несколько условно, но эти принципы широко применяются в решении задачи практического программирования урожаев специалистами различных отраслей агрономической и смежных с ней наук.

Физиологические принципы программирования урожаев предусматривают формирование посевов с оптимальными показателями площади листьев, чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), фотосинтетического потенциала (ФП) и продуктивности работы ассимилирующей поверхности, обеспечивающих получение заданного урожая. Каждому уровню урожая должны быть присущи «свои» фотометрические показатели, которые заблаговременно закладывают в программу. На их основе составляют графики формирования площади листьев и фотосинтетического потенциала, в течение периода вегетации контролируют их нарастание и принимают оптимальные решения для регулирования (полного или частичного) факторами, непосредственно влияющими на рост и развитие ассимилирующих органов и динамику накопления ФП.

Биологические принципы программирования урожаев связаны:

- с оптимизацией водного, воздушного, теплового и пищевого режимов почв;
- с созданием автоматизированных систем регулируемого земледелия;
- с управлением факторами среды обитания растений и реализацией потенциальной продуктивности современных сортов сельскохозяйственных культур.

«Искусственное» растениеводство (камеры искусственного климата, теплицы и др.) уже в настоящее время носит характер контролируемого, управляемого и регулируемого объекта.

Агрохимические принципы программирования урожаев предусматривают:

- обоснование экономически оправданных доз удобрений для посевов заданной продуктивности с учетом агрохимических свойств почв, выноса питательных веществ урожаями, коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений;

- получения продукции высокого качества при одновременном повышении плодородия почв, а также применение диагностики для контроля за питанием растений в агрофитоценозах.

Агрофизические принципы программирования урожаев предусматривают оптимизацию физических и физико-химических свойств почв (объемная масса, удельное сопротивление, пористость, плотность, влагоемкость, водопроницаемость, теплоемкость и др.).

Пористость в значительной степени зависит от плотности почвы. Чем почва рыхлее, тем больше ее пористость и воздухоемкость. Чтобы иметь достаточное количество кислорода в почве, необходимо сохранять ее в рыхлом состоянии. Оно соответствует объемной массе не более 1—1,2 г/см³ для суглинистых почв и не более 1,2—1,4 г/см³ для супесчаных и песчаных почв.

Агрометеорологические принципы программирования урожаев — это правильное использование климатических показателей для обоснования продуктивности посевов, прогнозирования условий вегетационного периода, полегания растений, появления и вредоносности вредителей и болезней и др.

Основные неблагоприятные факторы, которые приводят к гибели или частичному повреждению посевов озимых и зимующих культур - вымерзание, выпревание, вымокание, выдувание, зимняя засуха и ледяная корка на почве. Эти показатели могут быть использованы для программирования условий перезимовки озимых и зимующих культур.

Уровень урожая и КПД ФАР зависят от окультуренности почв, урожайности сорта, влагообеспеченности посевов, доз удобрений и других агротехнических мероприятий. Их оптимизация составляет задачу программирования урожая.

Агротехнические принципы программирования урожаев заключаются:

- в разработке и внедрении оптимальных технологий (сетевых графиков) возделывания культуры, обеспечивающих своевременное и высококачественное проведение всего агротехнического комплекса работ с учетом биологических особенностей сорта.

Важные факторы при этом: нормы высева, плотность стояния растений, сроки и способы посева, режимы орошения или осушения, то есть факторы, придающие агрофитоценозу характер регулируемого и

управляемого объекта. Задача программирования состоит в том, чтобы с учетом складывающихся погодных условий или материально-технических ресурсов хозяйства сформировать такие посевы, которые бы при минимальных затратах труда и средств обеспечивали наивысшую продуктивность.

ГЛАВА III. АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ

3.1. Комплекс метеорологических факторов, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур

На Юге России отмечаются следующие неблагоприятные погодные условия:

1. Засуха характеризуется как продолжительный бездождный период, сопровождающийся высокой температурой воздуха и иссушением почвы. Наблюдаются засухи осенние, весенние и летние. В восточной части региона могут отмечаться зимние засухи. Засуха может продолжаться в течение 2—3 сезонов. Сильная жара достигает 40° и более.

2. Суховеи. К ним относятся ветры со скоростью 5 м/с и более, сопровождающиеся температурой воздуха 25°С и более, относительной влажностью воздуха 30% и ниже. Суховеи приходят с востока.

3. Пыльные бури. К ним относятся ветры, сопровождающиеся переносом большого количества почвенных частиц. Пыльные бури могут быть зимние, весенние, летние, осенние. Совместное перемещение в воздухе снега с пылью в XIX веке было названо зимними черными бурями. В Ставропольском крае пыльные бури могут быть восточного и западного направления. Преобладают пыльные бури при восточном ветре.

4. Ливневые осадки характеризуются высокой интенсивностью, чаще проявляются с апреля по сентябрь. Охватывают небольшие площади и часто бывают непродолжительными, но могут вызывать различные бедствия и сильное разрушение почв.

5. Зимние сильные потепления. Максимальная температура воздуха в зимний период может повышаться до 6—20°. Теплые зимы способствуют вегетации озимых культур, проведению полевых работ, но при отсутствии снежного покрова содействуют возникновению пыльных бурь. В теплые зимы сильнее проявляется поражение озимой пшеницы болезнями. При наличии снежного покрова и отсутствии сильных морозов наблюдается выпревание озимых культур.

6. Сильные морозы. Особо сильные морозы (до -35°, -40°) наблюдающиеся при значительном снежном покрове (20—30 см);

морозы до -18° , -25° - при отсутствии или незначительной мощности снежного покрова вызывают вымерзание озимых и зимующих культур.

7. Сильные ветры, ураганы. Сильные ветры со скоростью более 14—21 м/сек, ураганные ветры, штормы со скоростью более 21 м/сек в Ставропольском крае бывают восточного и западного направления. Чаще и продолжительнее ветры восточного направления.

5. Метели, вьюги характеризуются сильными и ураганными ветрами, сопровождающимися снегопадом и переносом рыхлого наземного снега.

9. Интенсивные гололеды характеризуются выпадением сильных переохлажденных жидких осадков при небольших отрицательных температурах воздушного приземного слоя (-1° ... -6°).

10. Град. Выпадение града часто сопровождается штормовым ветром, охватывает небольшие площади, наблюдается почти ежегодно в разных частях территории края.

11. Похолодания в теплый период года могут наблюдаться в виде весенних и осенних заморозков при температуре 0 - 6°C . В летнее время возможно снижение температуры до $+6^{\circ}\text{C}$.

Неблагоприятные погодные условия могут проявляться в течение сезона совместно и по очередности, вызывая различные бедствия. В течение зимнего периода могут быть сильные морозы, ураганные ветры, пыльные бури, незначительное количество снежных осадков, потепления, обильное выпадение снежных осадков, вьюги (табл. 1).

Таблица 1 - Частота пыльных бурь в степных и сухостепных районах Ставропольского края

Период, годы	Распаханность территории, %	Число лет с пыльными бурями
1760-1780	менее 1	1
1781-1800	менее 2	
1801-1820	менее 3	
1821-1840	менее 5	1
1841-1860	менее 10	1
1861-1880	10	2
1881-1900	18	5
1901-1920	38	5
1921-1940	42	6

<i>Продолжение таблицы 1</i>		
1941-1960	55	8
1961-1980	64	9
1981-2000	65	6

Согласно компьютерной версии урожайность озимой пшеницы с 1861 по 1980 год при отсутствии засухи, пыльных бурь и вымерзания могла увеличиться на 35—60% (табл. 2).

Таблица 2 - Урожайность озимой пшеницы (ц/га) и неблагоприятные погодные условия в Ставропольском крае

Период, гг.	Средняя урожайность, ц/га	Количество лет с:		
		засухой	Пыльными бурями	вымерзанием
1861-1870		4	3	...
1871-1880	4,0	7	...	1
1881-1890	5,2	6	2	1
1891-1900	7,9	7	4	1
1901-1910	6,9	5	4	1
1911-1920	6,3	4	1	...
1921-1930	4,9	6	3	2
1931-1940	9,8	4	4	...
1941-1950	7,3	4	4	1
1951-1960	12,7	3	9	...
1961-1970	14,7	5	6	2
1971-1980	18,3	5	4	1
1981-1990	24,7	1	4	...
1991-1999	26,3	3	2	...

С 1980 г. отрицательное влияние засух и пыльных бурь на урожайность сократилось. Наиболее благоприятные годы для зерновых культур были 1952, 1958, 1960, 1973, 1977, 1978, 1981, 1982, 1989—1993. В благоприятные годы даже при проявлении непродолжительных пыльных бурь главным фактором увеличения урожайности являются атмосферные осадки в мае - июне. Резко снижают урожайность зерновых низкие температуры воздуха зимой (1950, 1964, 1969 гг.), сильный гололед, образование ледяной корки (1954, 1955, 1985 гг.), засухи весенние и летние (1959, 1969, 1972, 1975, 1976, 1998, 1999 гг.),

пыльные бури (1964, 1969, 1984 гг.), осенние засухи (1975, 1976, 1987, 1998 гг.).

С 1861 по 1986 гг. засухи (осенние, весенние, летние или их сочетания) повторялись в течение 10 лет от 4 до 7 раз, пыльные бури — от 2 до 9 раз, вымерзание озимых культур — от 1 до 2 раз. На территории края в этот период были развиты процессы иссушения, опустынивания территории.

3.2. Вероятность неблагоприятных явлений в районах интенсивного земледелия и учет их при программировании урожая

До начала активного освоения значительная площадь земель Ставропольского края была под водой или подтоплена. Много было озер, лиманов. Можно предположить, что до 1802 г. климатический цикл был более увлажненным. Примерно с 1802 г. началось иссушение территории края. Засухи и пыльные бури стали постоянными спутниками земледелия. Период с 1802 по 1986 г. можно охарактеризовать как засушливо-ветро-эрозионный цикл. С 1987 г. в крае отмечается более увлажненный климатический цикл, переход к которому был замечен в конце 50-х годов.

Изменение природных систем происходило под влиянием климатических и антропогенных факторов. Примерно с 1830 г. происходило уменьшение площади под водой, лесом, естественной растительностью, истощались земельные ресурсы.

Заметное ослабление процессов иссушения на территории края началось в 50-х годах XX века. В степных районах края стали приживаться посаженные деревья, улучшился зеленый покров. Еще большее ослабление процессов иссушения на территории края произошло в 70-х годах. Эти переходы климата к увлажнению заметно отразились и на урожайности ведущей культуры — озимой пшеницы. В 1951—1960 гг. она составила в среднем за 10 лет — 12,7 ц/га, в 1971—1980 гг. — 18,3 ц/га. Конечно, ослабление процессов иссушения наблюдалось на фоне интенсификации сельскохозяйственного производства. Однако человек не должен обольщаться своими достижениями, так как, несмотря на улучшение приемов земледелия, технических средств увеличение урожая произошло не за счет орошения.

Более явный переход погодных условий к увлажнению произошел в 1987 г. В течение 11 лет подряд с 1986 до 1998 г. в крае отмечался небывалый период с благоприятными погодными условиями. На значительной части территории края количество осадков в год выпадало от 400 до 700 мм, а местами и более. Сумма активных температур в вегетационный период была ниже нормы.

Средняя урожайность озимой пшеницы на фоне применения минеральных удобрений в крае достигла в 1990 г. - 36,1 ц/га, в 1991 г. - 31,8 ц/га. Средняя урожайность с 1991 по 1999 г. соответственно — 26 ц/га. На фоне отрицательного баланса гумуса и питательных веществ во всех районах края с 1994 по 1999 г. средняя урожайность озимой пшеницы составляла от 21,7 до 25,6 ц/га. Эти показатели равны средней урожайности штата Канзас (США), где осадков в год выпадает от 400 до 700 мм и который считается главным поставщиком озимой пшеницы в мире.

В связи с усилением увлажнения территории происходило улучшение растительного покрова. На Терско-Кумской низменности полынно-разнотравные степи (в 40-х годах XX века) превратились в злаково-разнотравные. В 60-х годах XX века началось закрепление мелкобурунных и среднебурунных песчаных массивов в восточной части. В западной части края сенокосные угодья, практически превращенные в деградированные пастбища, стали в 80-х годах улучшаться и к 2000 г. приблизились к состоянию сенокосов. Сильно деградированные пастбища на фоне резкого сокращения поголовья скота и овец во многих местах превратились по существу в сенокосные угодья.

В 1990 г. началось улучшение травостоя даже в западной части Арзгирского района, в травостое появился типчак.

Увеличение увлажнения территории стало играть и отрицательную роль: усилились процессы подтопления, заболачивания. Эти процессы стали заметны в крае в конце 70-х и в начале 80-х годов. Переувлажнение земель происходило в результате расширения сети обводнения и орошения на фоне увлажнения климата. Однако главным фактором переувлажнения земель в целом следует считать изменение погодных условий. Так, переувлажнение отмечается не только в зоне влияния водоемов, каналов, но и на возвышенных массивах. В

предгорных районах, в центральной части края на возвышенных элементах рельефа, в приводораздельной полосе при слабом стекании осадков отмечается заболачивание. Наблюдается трансформация черноземов обыкновенных в выщелоченные и луговые. На Ставропольской возвышенности отмечается усиление оползневых процессов.

Улучшение растительного покрова, увеличение увлажнения в отдельных геосистемах создает условия для улучшения и некоторого восстановления почвенного покрова.

Следует отметить, что такая тенденция к увлажнению менее заметна в Ростовской, в Волгоградской областях, в Калмыкии. Однако развитие погодных условий в крае в последние годы ясно указывает на то, что примерно с 1987 г. произошло изменение климатического цикла с засушливо-ветроэрозионного на увлажненный.

В связи с этим следует ожидать усиления оползневых процессов, затопления и подтопления земель в восточной части края на Прикаспийской низменности, а также в пойменных частях рек Кубани, Калауса, Кумы. Увеличится площадь подтопляемых земель вдоль оросительной сети и площадь заболоченных, «мочаровых» земель не только в понижениях, но и на возвышенных склонах. Поэтому необходима долгосрочная программа по сбросу вод в мировой океан, по предупреждению переувлажнения на сельскохозяйственных угодьях и в населенных пунктах. Опыт показал, что предупреждение переувлажнения сложнее и дороже, чем защита земель от иссушения. Наиболее эффективны, будут сложные гидротехнические сооружения, дренаж земель с отводом вод, увеличение площади травосеяния. Необходимы все мероприятия по защите почв от водной эрозии при крутизне $0,5—0,7^\circ$ и более с устройством залуженных водотоков для сброса вод.

Новый цикл погодных условий не исключает проявления засух и пыльных бурь. Они могут быть реже, но проявляться контрастнее. Об этом свидетельствует засуха в 1998—2001 гг. Географическое положение края предопределяет развитие засух, действие восточных и западных ветров, усиление почворазрушения в ветровых коридорах. Так, продолжительное действие восточных и западных ветров может

привести к иссушению влажной поверхности, распылению верхнего слоя почвы и проявлению ветровой эрозии.

Предположительно новый цикл климатических условий продолжится 130—170 лет. Следовательно, предстоит решать сложные задачи совершенствования системы ведения хозяйства, размещения сельскохозяйственного производства, организации территории, разработки севооборотов, технологий с учетом как проявления засух, пыльных бурь, так и усиления переувлажнения земель. Следует принять во внимание, что население селилось в XIX веке (в засушливо-ветроэрозионном цикле) чаще в поймах, на террасах рек, вдоль рек, в понижениях. Поэтому для многих поколений вероятно опасность наводнений.

Известны прогнозы о глобальном изменении климата в связи с «парниковым эффектом». В 70-х годах XX века было обосновано, что усиливающиеся выбросы тепла и углекислого газа в атмосферу в результате деятельности человека изменяет тепловой баланс Земли. В результате «парникового эффекта» температура на нашей планете повысится на 1—2°.

Это грозит большими изменениями в климатических зонах, усилением таяния ледников, повышением уровня мирового океана, развитием процессов затопления. По некоторым данным, начало критической ситуации ожидается в 2005 г. В США считают, что с усилением там стихийных бедствий действие «парникового эффекта» уже проявляется. Многие страны считают себя в целом подготовленными к глобальным изменениям климата. Сопоставляя мнения о развитии «парникового эффекта», о глобальных изменениях климата, считаем, что правильнее придерживаться следующего положения: антропогенная деятельность может вызывать существенные сдвиги в климате отдельных участков Земли, но глобальные изменения климата человеку не подвластны. Климат на планете менялся многократно.

3.3. Фотосинтетическая активная радиация (ФАР), ее роль в формировании урожая. Методы расчета и обеспеченность ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей

Урожай формируется в процессе фотосинтеза в результате использования энергии солнечной радиации. К. А. Тимирязев считал,

что предел плодородия почвы определяется не количеством удобрений, которые мы можем ей доставить, не количеством поданной влаги, а количеством световой энергии, посылаемой солнцем на данную поверхность.

Различают два вида естественной радиации: коротковолновую, называемую также *интегральной радиацией*, с длиной волны 280—400 нм; длинноволновую с длиной волны от 400—4000 нм.

Для определения потенциальной урожайности используют фотосинтетически активную радиацию (ФАР) с длиной волны 380—710 нм.

В свою очередь ФАР подразделяется на следующие виды:

прямая солнечная радиация (S) — часть лучистой энергии Солнца, поступающая к Земле в виде почти параллельных лучей;

рассеянная радиация (D) — часть солнечной радиации, падающая на горизонтальную поверхность после рассеивания атмосферой и отражения от облаков, ее измеряют пиранометром, приемная часть которого затеняется от солнца при помощи специальных экранов.

Суммы ФАР по району (хозяйству) могут быть рассчитаны также по данным ближайшей актинометрической станции или агрометеорологического поста. Данные сумм интегральной радиации, взятые на станции, пересчитывают на сумму ФАР по формуле

$$\Sigma Q_{\text{ФАР}} = 0,4225\Sigma S + 0,582\Sigma D,$$

где $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$ — сумма общей ФАР;

ΣS — сумма прямой солнечной радиации;

ΣD — сумма рассеянной солнечной радиации.

Показатель ФАР обычно составляет 42—47% интегральной радиации и зависит от метеорологических условий года. В зависимости от продолжительности вегетационного периода, значения ФАР сильно различаются: в приполярных зонах приход ее составляет 4,19-6,28 млрд. кДж/га, на Северном Кавказе — 25,12-29,31 млрд. кДж/га, а в республиках Средней Азии — 33,49-41,87 млрд. кДж/га, что обуславливает формирование различного количества и качества биомассы.

Солнце посылает на землю колоссальный поток энергии (50×10^{20}), но не вся энергия достигает поверхности земли, примерно 50% ее рассеивается в атмосфере.

Какая же часть этой энергии улавливается и запасается растениями? Оказывается, очень незначительная. В настоящее время достигнут предел использования растениями солнечной энергии на фотосинтез — это максимум 3-4%, а чаще 1-2% или меньше. Однако у некоторых полевых культур при высокой агротехнике коэффициент использования ФАР достигает значительной величины.

Рассчитать, величину планируемого урожая по приходу ФАР можно пользуясь формулой А.А. Ничипоровича:

$$Y_{\text{биол}} = \frac{\sum Q_{\text{ФАР}} K}{10^5 g}$$

где $Y_{\text{биол}}$ — биологический урожай абсолютно сухой растительной массы, т/га;

$\sum Q_{\text{ФАР}}$ — количество приходящей ФАР за период вегетации культуры в данной зоне, млрд. ккал/га;

K — запланированный коэффициент использования ФАР, %;

g — количество энергии, выделяемое при сжигании 1 кг сухого вещества биомассы, ккал/га;

10^5 — для перевода в тонны.

3.4. Определение урожайности по фотосинтетическому потенциалу листьев

Важным условием для максимального использования ФАР является создание посевов с оптимальной ассимилирующей площадью листьев. Оптимальной принято считать такую площадь листьев, которая обеспечивает максимальный газообмен посева. По данным многих исследований у сельскохозяйственных культур оптимальная площадь листьев варьирует в пределах 20—70 тыс. м²/га.

Необходимо разрабатывать такую агротехнику, при которой площадь листьев быстрее достигала бы оптимальной величины и как можно дольше сохранялась работоспособность листьев. Обобщенный показатель их работоспособности называется **фотосинтетическим потенциалом (ФП)**. ФП посева вычисляется как сумма показателей площади листьев на гектар посева за каждый день вегетации или отдельные ее отрезки.

Опытами И. С. Шатилова установлено, что для получения 100 ц/га зерна кукурузы необходимо сформировать ФП, равный 3,0-3,5 млн.

единиц, что обеспечивается при достижении площади листьев 45-50 тыс. м²/га (53-55 тыс. м²/га). Поэтому заблаговременно до посева должен быть составлен график нарастания площади листьев и фотосинтетического потенциала посевов. Исследования показывают, что солнечную радиацию лучше аккумулируют растения с высоким и ярусным расположением листьев, причем сорта с острым углом прикрепления листьев способны полнее утилизировать ее. Например, у кукурузы листья расположены вертикально и даже при большой густоте стояния каждое растение получает достаточно солнечных лучей.

Прогнозирование и программирование урожайности зерновых культур по структурной формуле урожая. Основные элементы структуры урожая, из которых складывается его величина, — количество растений на 1 м² при уборке, продуктивная кустистость, число колосков в колосе, число зерен в колоске, число зерен в колосе, масса 1000 зерен. Они составляют биологическую основу урожайности.

Исходя из указанных биологических элементов М.С. Савицким (1973) предложено определять величину урожая по структурной формуле:

$$y = \frac{(P \cdot K)(Z \cdot A)}{10000}, \quad (5.1)$$

где Y — урожай зерна, ц/га;

P — среднее количество растений на 1 м² при уборке, шт.;

K — продуктивная кустистость;

Z — среднее число зерен в колосе, шт.;

A — масса 1000 зерен, г.

В более сокращенном виде указанную формулу можно записать соотношением:

$$y = \frac{C \cdot B}{10}, \quad (5.2)$$

где C — густота продуктивных растений (стеблей), шт./м²;

B — средняя продуктивность одного растения (стебля), г.

Еще в довоенные годы М.С. Савицкий получал на опытном поле Всесоюзной сельскохозяйственной выставки 97,1— 99,8 ц/га озимой пшеницы при плане 100 ц/га.

Структурная формула урожайности как в полном, так и в упрощенном виде наглядно показывает, как складывается любая величина урожая, позволяет определять виды на урожай в поле на корню и оценивать эффективность различных агротехнических приемов. Эта формула дает возможность установить оптимальную густоту стояния растений и продуктивных стеблей, а также оптимальную массу зерна с одного растения (колоса или метелки), обеспечивающих максимальный урожай, возможный в определенных конкретных условиях среды. Так, по структурной формуле на основании многолетних данных было установлено, что в Белоруссии оптимальная густота продуктивного стеблестоя зерновых при уборке урожая составляет 500—600 колосьев на 1 м² в зависимости от культуры, сорта растения, плодородия и типа почвы. При средней массе 0,5 г зерна в колосе это может обеспечить 25—30 ц/га.

Элементы структуры урожая являются в известной степени отображением комплекса условий внешней среды, который может быть учтен количественно через элементы структурной формулы урожайности и урожай в целом. Знание закономерностей формирования урожая зерновых культур в поле на корню позволяет прогнозировать его величину. Однако этот метод не обеспечивает точный расчет необходимых элементов питания, влаги и других факторов среды для получения запланированных урожаев.

Проведенный анализ структуры урожая за ряд лет позволил установить, что наиболее устойчивыми показателями его структуры являются полевая всхожесть, продуктивная кустистость, масса 1000 зерен и выход зерна из общей массы урожая. Средними по устойчивости показателями урожая являются число колосков в колосе, число зерен в колосе, процент перезимовавших растений (для озимых культур). Наименее устойчивыми показателями являются урожай зерна, количество растений и продуктивных стеблей на 1 м² при уборке урожая и процент сохранившихся к уборке растений.

3.5. Использование прогнозов погоды для программирования урожаев и корректировки программы в процессе ее осуществления

Программа, составленная на основании только климатических норм, будет давать существенную ошибку.

При учете влаго- и теплообеспеченности следует использовать параметры, содержащиеся в агроклиматических справочниках, а также данные, полученные в хозяйстве или на ближайшей метеостанции, характеризующие режим увлажнения и особенности микроклимата отдельных полей. Перечислим необходимую для программирования урожайности зерновых культур агрометеорологическую информацию:

- 1) сумма активных температур;
- 2) дата последнего заморозка весной;
- 3) дата первого заморозка осенью;
- 4) продолжительность безморозного периода;
- 5) запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы на начало весенних полевых работ в полях севооборота;
- 6) сумма осадков за вегетационный период (мм);
- 7) запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы перед уборкой (в полях севооборота);
- 8) суммарный расход влаги (мм) за вегетационный период по культурам;
- 9) средний из абсолютных минимумов температуры воздуха;
- 10) повреждение озимых зимой (по видам повреждений);
- 11) суммарная потребность воды на формирование единицы сухого вещества (коэффициент водопотребления) по культурам, сортам;
- 12) график динамики и тренда урожайности программируемой культуры за последние 10—20 лет (по данным хозяйства).

Информация, указанная в пунктах 1—4, 6, 8, содержится в агроклиматических справочниках. Остальная информация может быть получена на метеостанции, ведущей наблюдения на полях данного хозяйства.

При составлении программы получения высокого урожая до посева не представляется возможным заложить в нее предикторы, характеризующие ожидаемые метеорологические условия на 4—5 месяцев предстоящего периода. Поэтому используют вероятностные характеристики для расчета климатической обеспеченности: сумму температур, необходимых для созревания данного сорта; сроков поспевания почвы; сроков окончания заморозков; суммы осадков и других элементов с обеспеченностью 80 или 90%, что позволяет рассчитывать сроки сева и уборки, оросительные нормы,

характеризовать условия возделывания конкретных сортов в данных климатических условиях и устанавливать нижний предел ожидаемого урожая (по обеспеченности в 80—90% лет) ресурсами климата при заданной агротехнике.

ГЛАВА IV. АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ

В состав Южного Федерального округа входят: Астраханская, Волгоградская и Ростовская области, Краснодарский край, Ставропольский край, Кабардино-Балкарская, СО Алания, Чеченская, Ингушская, Карачаево-Черкесская, Адыгейская Республики, Республики Дагестан, Калмыкия. Вся территорию региона можно подразделить на три основные зоны — степную, предгорную и горную.

Обширная территория Предкавказья расположена к северу от Главного Кавказского хребта, между Черным и Каспийским морями. По характеру поверхности территория региона чрезвычайно неоднородна: Ставропольская возвышенность, Прикаспийская низменность, Предкавказская и Кумо-Манычская впадины, полоса предгорий с лакколитами Минераловодской группы.

Ставропольский край расположен в Центральном Предкавказье, что существенно отражается на его природных условиях и почвенном покрове. Расположенная в центре Ставропольская возвышенность, являющаяся климатической границей между влажными степями Западного Предкавказья и сухими — Восточного. На территории края отчетливо выражено снижение влажности и повышение температуры с запада и юго-запада на восток и северо-восток. В этом же направлении в полном соответствии с изменением климата меняется и естественная растительность — от альпийских и субальпийских лугов к луговым, разнотравно-дерновинно-злаковым степям с полупустынной растительностью. Уровень содержания гумуса, как специфической части органического вещества, в значительной мере зависит от типа почвы. В каштановых почвах его содержится 2—4%, в черноземах — более 3%.

Эффективное плодородие почвы — это часть деятельного потенциального плодородия, зависящая от наличия в почве доступных для растений азота, зольных элементов, воды, кислорода и других факторов жизни, от агротехнических мероприятий, степени химизации, погодных условий, величины урожая и других факторов мобилизации свойств (признаков) плодородия. Эффективное плодородие характеризуется количеством питательных веществ, доступных для растений и используемых ими.

Территория края отличается большим разнообразием климатических условий и постоянной сменой ландшафтов — от полупустынь на северо-востоке до влажных степей на западе. На общий характер процессов, циркулирующих в атмосфере, оказывает влияние Главный Кавказский хребет на юге, на западе и востоке — незамерзающие акватории Черного и Каспийского морей, в центре — Ставропольская возвышенность.

Сельскохозяйственные угодья края составляли на 1 января 2008 г.: пашня — 3994,3 тыс. га, 1793,5 тыс. га заняты многолетними насаждениями, залежами, сенокосами и пастбищами.

На территории края выделено 4 природные, 7 агроклиматических, 4 сельскохозяйственные зоны. Первая — овцеводческая, вторая — зерново-овцеводческая, третья — зерново-скотоводческая, четвертая — прикурортная. В составе сельскохозяйственных зон можно выделить более 12 производственных типов хозяйств.

В соответствии с типами почв территория Ставропольского края в почвенном отношении делится на три зоны: черноземов, каштановых почв и горных почв. Зона черноземов занимает около 40% территории края. На юге она примыкает к Северо-Кавказской горной провинции, на западе сливается с черноземами западно-предкавказской равнины, на востоке граничит с зоной каштановых почв. Черноземная зона края неоднородна и подразделяется на две ландшафтно-обособленные подзоны: лугово-степных и степных почв. В пределах первой распространены выщелоченные и типичные черноземы, в пределах второй — обыкновенные и южные черноземы.

К востоку от черноземов вплоть до административных границ края расположены почвы каштанового типа. Они занимают 44% территории края. На западе этой подзоны расположены темно-каштановые почвы, особенно по вершинам увалов и водораздельных плато, на склонах преобладают каштановые почвы. Районы распространения сочетаний этих двух подтипов относятся к сухостепной подзоне. Далее к востоку расположена пустынно-степная подзона со светло-каштановыми почвами. На юго-западе к черноземам примыкает зона горных почв, которая занимает 16% территории края (в границах 1988 г.).

Общее содержание гумуса и основных элементов питания в почвах Ставрополья колеблется в значительных пределах. Наиболее

плодородными являются выщелоченные черноземы, где количество гумуса в пахотном слое составляет 5,5-10,7%, азота – 0,29-0,45; фосфора – 0,10-0,12 и калия – 2,0-2,5%.

В то же время, светло-каштановые почвы содержат соответственно: 1,5-2,2; 0,09-0,15; 0,09—0,13; и 2,1 %. Содержание гумуса в различных типах почв края колеблется от 100 до 600 т/га.

В пределах почвенной разности и административных районов наблюдается значительная пестрота эффективного плодородия, обусловленная предшествующей удобренностью, условиями увлажнения, типом севооборота и другими факторами хозяйственной деятельности человека.

Количество подвижного фосфора в почвах основных сельскохозяйственных зон края колеблется от 14,0 до 29,0, обменного калия – от 305 до 490 мг/кг почвы. Среднее содержание фосфора P_2O_5 , по краю доведено до 19,0 мг/кг почвы. Однако в ряде районов количество этого элемента не превышает 14—15 мг/кг почвы.

Природные условия Ставропольского края контрастны, с ярко выраженной вертикальной зональностью, наличием довольно жестких лимитирующих факторов. Однако в целом они благоприятны для развития крупного интенсивного сельскохозяйственного производства.

4.1. Определение понятия модели. Классификация моделей

Модель представляет собой упрощенную форму отображения основных сторон строения и функционирования реального объекта. Фундаментальная ценность модели состоит в ее способности заменять реальный объект или процесс при изучении особенностей его функционирования.

Слово «модель» происходит от французского *modele*, означает образец какого-либо изделия для серийного производства; воспроизведение объекта в уменьшенном или увеличенном виде; предмет изображения в искусстве; геометрический чертеж или механический образец, дающий наглядное представление о каком-либо физическом объекте или процессе.

В данном случае речь идет о вещественных моделях, которые отображают отдельные интересующие нас стороны строения или функционирования материальных объектов. Таковы, например, модели,

дающие представление о внешней форме и соотношении размеров предмета. Другие модели — тренажеры — внешне мало сходны с объектом, но воспроизводят внутреннее устройство и раскрывают принцип его функционирования.

В земледелии деланка в полевом эксперименте — уменьшенная модель поля. К этому типу моделей относятся лизиметры, предназначенные для исследования процессов в почве, которые трудно или невозможно изучить непосредственно в поле (например, водный и пищевой режимы, динамика формирования корневой системы и др.).

К материальным моделям предъявляют следующие требования: исследования, проводимые на модели, должны быть более экономичными, чем непосредственное исследование объекта (требование экономичности); результаты исследования должны быть полностью переносимы на оригинал (требование экстраполяции). При невыполнении этих требований использование метода моделирования приводит к отрицательным результатам — исследование на модели оказывается либо более дорогим, чем на оригинале, либо полученные данные неприложимы к реальному объекту.

При создании и использовании функционирующих материальных объектов необходимо применять **метод подобия**. Подобие — это условие, при котором возможно количественное распространение результатов эксперимента с модели на оригинал. Поскольку использование материальных моделей в исследованиях в области земледелия широко распространено, необходимо более подробно остановиться на вопросе о выполнении требования экстраполяции.

Из вышеизложенного следует, что подобие модели оригиналу непосредственно определяет продуктивность моделирования (продукция возможна только тогда, когда модель подобна оригиналу). Но для построения такой модели необходимо выполнить требования теории подобия, что весьма нелегко, особенно когда процесс функционирования реального объекта сложный. Поэтому результаты многих модельных экспериментов в земледелии и растениеводстве (вегетационные, лизиметрические, факторостатные и др.) нельзя количественно переносить на оригинал (поле), поскольку подобие моделей (вегетационный сосуд, лизиметр, фитотрон) оригиналу (поле) не определено и результаты исследования не продуктивны, т.е. не могут

быть экстраполированы. Практически невозможно создать, например, фитотрон, который по основным показателям (режим освещения, воздухообмен и др.) был бы подобен полю. Показатели лизиметра (теплообмен и водообмен между горизонтами почвенного профиля, горизонтальный сток) не подобны показателям реального объекта. Более того, иногда результаты полевых опытов на больших делянках, подобие которых полю нетрудно соблюсти, не всегда могут быть количественно перенесены в производственные условия, так как в данном случае не выполнено требование подобия по масштабу. Как известно, с изменением масштаба производства изменяются сроки проведения технологических операций, а иногда и их качественные показатели. Вследствие этого эффективность тех или иных рекомендаций применительно к небольшим масштабам может не подтвердиться при широком масштабе производства. Так, например, исследуя в полевом эксперименте эффективность различных парозанимающих культур в севообороте по избранным критериям, получили хорошие результаты по какой-либо одной культуре, а в производственных условиях эффективным будет возделывание другой культуры, которая по срокам вегетации и проведения основных технологических операций лучше «вписывается» в технологический производственный процесс.

Для практики решающее значение имеет возможность количественного приложения результатов опытов на модели к оригиналу, в противном случае моделирование было бы бессмысленным. С другой стороны, исследование на модели должно быть более экономичным (с учетом стоимости модели и затрат на проведение модельных экспериментов), чем изучение оригинала, иначе моделирование нецелесообразно (проще экспериментировать непосредственно на оригинале).

Существует множество определений понятия математической модели. Общим для всех этих определений является то, что под **математической моделью** понимают абстрактный заменитель реальной системы, отражающий основные (не все) стороны ее строения или функционирования и создаваемый с целью прогнозирования поведения данной системы и оптимального управления ею.

Как уже было отмечено ранее, математическое моделирование — одно из крупнейших достижений научно-технического прогресса, позволяющее более глубоко проникать в суть явлений, предсказывать результаты внешних воздействий на систему, что особенно важно в случаях, когда прямой эксперимент невозможен или является слишком дорогим с экономической точки зрения, или связан с разрушением системы или возможностью возникновения непредсказуемых последствий такого эксперимента.

Необходимо отметить, что нельзя противопоставлять физическое или вещественное моделирование математическому, даже в системном анализе, где применяются математические модели. На каждом этапе исследования системы следует использовать тот метод, который эффективен в данном случае. В процессе построения математической модели нельзя обойтись без экспериментов на материальных моделях для определения вида функций и параметров.

Единая классификация моделей затруднена в силу множества толкований понятия «модель». Их классифицируют по характеру моделируемых объектов, по характеру самих моделей (с учетом различных средств их построения), по сферам приложения моделей.

Модели подразделяют на предметные (физические модели), предметно-математические (аналоговые) и знаковые (различные схемы, чертежи, графики, формулы, графы и т.п.). Важнейшим видом знаковой модели являются математические модели, которые в основном и применяются в системном анализе.

В самом общем виде математические модели в биологии и земледелии можно грубо разделить на описательные (эмпирические) и объяснительные (теоретические или механистические).

Описательные модели служат для «свертывания» и компактного представления экспериментальных данных. Эти модели строятся без глубокого проникновения в суть явлений и предназначаются для практического применения. Иногда модели этого типа называют эмпирическими. Строятся они на основе изучения экспериментальных данных, касающихся структуры и функционирования изучаемой системы, некотором их анализе и нахождении формы уравнения или системы уравнений, коэффициенты которых могут быть установлены по этим же данным. Часто описательные модели строятся по принципу

«черного ящика». Сущность этого принципа заключается в исследовании результатов функционирования на выходах системы, если будут определенным образом изменяться входные сигналы. При этом модель не описывает внутреннее строение системы и не анализирует, как и почему происходят изменения на ее выходах. Так, можно изучить реакцию агрофитоценоза на применение различных доз удобрений, орошения и других воздействий, не рассматривая его структуру. В качестве простейшего примера модели этого типа можно привести выражение

$$Y = d + aX + bX^2,$$

где Y — урожай или какой-либо другой результат функционирования агрофитоценоза;

X — какой-либо из факторов, определяющих величину урожая на фоне других факторов, сохраняющих постоянное значение;

d, a, b — статистические коэффициенты.

Для построения и практического использования моделей этого типа не требуется профессионального математического образования. Они легко осваиваются биологами и агрономами, имеющими некоторое знакомство с математической статистикой.

Необходимо отметить, что в настоящее время представление результатов исследования в форме лишь словесного описания недостаточно. Результаты исследования должны быть представлены в количественной форме.

Если описательная модель дает представление о том, что произойдет на выходе системы при изменении входных сигналов, то *теоретическая* объясняет, как и почему изменения на входе системы приводят к той или иной реакции на выходе. Так, теоретическая модель системы «почва — растительный покров — приземный слой воздуха» подробно описывает важнейшие процессы трансформации питательных веществ в почве и поступления их в растение, водный обмен, ростовые функции и другие процессы, которые в конечном итоге приводят к образованию урожая.

Модели этого типа, как правило, не подвергаются экспериментальной проверке, так как всякая попытка такой проверки оказывается неэффективной. При обнаружении несоответствия модели реальной системе данную модель можно адаптировать. Построение

теоретических моделей в отличие от описательных требует глубоких знаний математики. Биолог должен быть подготовлен к диалогу с математиком, чтобы понять логику построения теоретических моделей, а иногда и ставить перед ним новые проблемы.

По способности находить оптимальные решения аналитическими методами модели делятся на оптимизационные и имитационные.

4.2. Оптимизационные модели

Модели этого типа создают с целью нахождения наилучшего по избранному критерию решения задачи. Слово «оптимизация» означает процесс отыскания максимума или минимума какого-либо математического выражения или функции. При нахождении максимума применяют термин «максимизация», при отыскании минимального значения функции — «минимизация».

В принципе все модели могут быть использованы для нахождения тех или иных максимумов или минимумов. Однако вполне естественно желание сформулировать модель таким образом, чтобы облегчить отыскание оптимальной комбинации факторов путем решения математической задачи. Нахождение общего класса решений таких задач было названо **математическим программированием**. Таким образом, термин «программирование» появился еще задолго до того, как были сконструированы вычислительные машины, и слово «программирование» вошло в практику в смысле написания инструкции для ЭВМ, а в агрономическом смысле для определения оптимального уровня и соотношения факторов с целью получения максимального урожая.

В земледелии программирование — процесс разработки плана агротехнических мероприятий, точное и своевременное выполнение которых обеспечивает получение запланированного урожая.

В настоящее время наиболее разработан метод линейного программирования, широко применяемый для нахождения максимума или минимума линейных целевых функций при одном или более ограничениях, которые также могут быть выражены в виде линейных функций, хотя исходно представляли неравенства.

Необходимо отметить, что условие правильного применения любого метода, в том числе и метода линейного программирования, — доскональное изучение его возможностей.

К особенностям линейного программирования можно отнести следующие:

- линейные модели при линейном программировании не отражают с достаточной полнотой внутреннюю структуру системы;

- принцип аналитико-математических моделей однозначно основан только на точности (и однозначности), а не на достоверности (соответствии действительности);

- огромные трудности для линейного программирования связаны с нелинейными зависимостями, стохастическими элементами в системах.

При использовании линейного программирования вводят при необходимости соответствующие упрощения модели, чтобы избежать трудности в расчетах. Поэтому во многих случаях быстро намечается граница упрощений, начиная с которой результаты моделирования формально верны, но фактически обесценены. Это, очевидно, основная причина неудач применения линейного программирования для решения сложных проблем. Определенная ограниченность возможности применения линейных моделей в сложных сельскохозяйственных системах может устраняться при использовании модели нелинейного программирования.

Следует отметить, что получаемые при использовании оптимизационных методов формально оптимальные решения в действительности не всегда являются таковыми. Так, найденная с помощью метода линейного программирования, оптимальная структура посевных площадей в некоторых случаях не может быть применена на практике, так как при данной структуре создание севооборотов, отвечающих биологическим, агротехническим, организационным требованиям, невозможно. Возникает необходимость производить так называемые пост оптимизационные изменения структуры посевных площадей. При этом нарушается оптимальность структуры и сохраняются все упомянутые выше недостатки метода. Это неизбежно, так как все конкретные особенности каждого хозяйства нельзя отразить в оптимизационной линейной (и нелинейной) модели.

Моделирование — это мощный инструмент в руках исследователя, предназначенный для решения задач прогнозирования и оптимального управления объектами. Как всякий инструмент, модель должна обладать необходимыми качествами, включая экономические характеристики, такие, как стоимость ее разработки и эксплуатации в сопоставлении с ожидаемым экономическим эффектом от внедрения в производство.

Практический опыт показывает, что математические модели как средство, облегчающее выработку лучше плановых и технологических решений, могут широко применяться в производстве только в том случае, если внедрение их не связано с необходимостью введения трудоемких операций и не вызывает дополнительных трудностей в работе специалистов сельского хозяйства. Основные требования к модели прикладного характера следующие:

- модели урожайности культур, предназначенные для решения задач управления производственным процессом, оптимизации систем удобрений, структуры посевных площадей и т. п., должны отражать реальный объект в необходимой степени, при этом, не допуская излишней подробности описания;

- модель во всех блоках должна быть понятной пользователям. В этом случае они уверены в корректности выполняемых с помощью модели действий при выработке решений.

4.3. Прогнозирование и программирование урожая на основе балансовых моделей

Балансовый метод программирования урожайности позволяет учитывать комплексное влияние на растение основных факторов жизни. Он основывается на применении более простых физико-статистических моделей производственного процесса. При этом процедура программирования сводится к определению уровня урожая, расчету доз удобрений, разработке технологических карт и т.д. В основных расчетных формулах используются обобщенные во времени и пространстве почвенно-климатические показатели. Этот метод получил наибольшее развитие в работах МСХА, ЛСХИ, АФИ, Башкирского СХИ, Татарского НИИСХ, УкрНИИОЗа и ряда других учебных и научно-исследовательских отраслевых и зональных учреждений и

находит пока наиболее широкое применение в практике программирования урожаяев.

Основные балансовые уравнения, применяемые в этих расчетах, приведены выше при рассмотрении типов моделей.

Метод, разработанный в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии, позволяет прогнозировать возможную величину урожая (Y) с учетом эффективного плодородия почвы по комплексным показателям — баллу бонитета почвы ($B_{п}$) и цены балла пашни ($Ц_{б}$) по уравнению:

$$Y_{в} = \frac{B_{п} \cdot Ц_{б} \cdot 100}{100 - П_{уд}}, \quad (5.3)$$

где $П_{уд}$ — прибавка урожая от удобрений, %.

Цена балла пашни для зерновых культур равна в среднем 37 кг зерна, для картофеля — 281 кг, для льна: волокно — 11,4 кг, семена — 9,1 кг. Этот показатель — величина непостоянная и меняется в зависимости от почвенной разности, агрохимических свойств почвы.

Для учета агрохимических свойств почвы применяются поправочные коэффициенты к цене балла пашни. Произведение показателя балла пашни и цены балла дает уровень урожая, который может быть получен за счет эффективного плодородия почвы без применения удобрений на фоне высокого уровня агротехники.

Метод нашел широкое применение при программировании урожаяев в Белоруссии. Средние отклонения фактической урожайности культур от расчетной величины составляют 10—20%. При неблагоприятных условиях погоды они, естественно, возрастают.

В БелНИИПА под руководством Т.Н. Кулаковской разработана интегральная модель оптимальных свойств средне- и легкосуглинистых почв, эффективное плодородие которых дает возможность получать 45—60 ц/га зерна, или 65—75 ц/га корм. ед. Модель позволяет прогнозировать изменение во времени исходного состояния свойств почв под воздействием факторов интенсификации. На ее основе возможно плановое управление процессами расширенного воспроизводства плодородия почв.

Оптимальные значения основных ее параметров характеризуются следующими показателями: мощность пахотного горизонта — 25-30 см; содержание доступных форм макроэлементов (в мг/100 г почвы) — азота ($NO_3^- + NH_4^+$) — 3-4,5; фосфатов — 25-30 (по Кирсанову);

обменного калия — 20-25; магния — 10-12; содержание микроэлементов (мг/кг почвы): меди — 3-4, кобальта — 0,8-1,2, молибдена — 0,1-0,4, бора — 0,5-0,6, цинка — 6-7; реакция почвенного раствора — pH_{KCl} — 6,0-6,5, pH_{H_2O} — 6,5-7,0, подвижный алюминий отсутствует, гидролитическая кислотность — 1,5-2 мг•экв/ 100 г почвы, сумма поглощенных оснований — 8-12 мг•экв /100 г почвы, степень насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса — 80—90%; объемная масса — 1,1—1,2 г/см³; порозность общая — 50—55%, воздухоемкость — 25—30%; высокая активность почвенных ферментов — инвертазы (более 1 мг глюкозы), полифенолоксидазы (свыше 3 мг пурпургалина), каталазы (более 1,3 мл кислорода); низкая активность пероксидазы и высокая нитрификационная способность. Для этих почв характерно отсутствие или незначительное проявление эродированности и завалуненности; запас продуктивной влаги в слое 0-50 см к началу вегетации 130-150 мм, коэффициент использования годовых осадков — 0,6-0,7.

Установлены для повышения содержания гумуса в почве на 0,1% требуется внесение на гектар 30—40 т навоза; для увеличения на 1 мг/100 почвы P_2O_5 и K_2O — соответственно 40—45 кг/га фосфорных и 60—70 кг/га калийных удобрений; для смещения pH в первый год на 0,15—0,2 на суглинистых почвах и на 0,2—0,35 на супесчаных — внесение 1 т/га качественных известковых материалов.

4.4. Моделирование плодородия почвы

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур осуществляется в основном в результате улучшения плодородия почвы, а также подбора культур и сортов, наиболее приспособленных к данным почвенно-экологическим условиям. В некоторых случаях затраты средств на создание сортов, устойчивых, например, к засолению или повышенной кислотности, времени избыточному увлажнению, могут оказаться ниже, чем затраты на коренное улучшение почвы. Однако главное направление — повышение плодородия почвы, так как почти все агротехнические мероприятия, направленные на увеличение урожайности, связаны с теми или иными способами (механическими, химическими и др.) воздействия на почву с целью улучшения ее водно-

воздушных свойств, химических и физических показателей, биологической активности.

Для решения сложных задач прогноза возможных изменений плодородия почвы при программировании урожайности и обеспечения рационального распределения ресурсов органических и минеральных удобрений между культурами и полями севооборотов необходимо широкое использование методов моделирования. Сложность почвы как открытой многопараметрической системы делает такой подход необходимым, но вместе с тем и чрезвычайно трудным. Количественное описание плодородия почв требует учета всех их основных свойств и режимов. Упрощенная трактовка способов управления плодородием почвы путем изменения только нескольких изолированных показателей, имеющих непосредственное агрономическое значение (например, pH, содержание гумуса, P_2O_5 , K_2O и др.), несостоятельна.

Интенсификация земледелия ставит перед наукой о почвенном плодородии задачу глубокого познания как позитивных, так и негативных процессов, развивающихся в почвах при интенсивном их использовании. В настоящее время недостаточная изученность почв и агроэкосистем как объектов моделирования создает наибольшую трудность в разработке сложных математических моделей почвенного плодородия. Создание моделей плодородия почвы пока еще находится на стадии моделирования динамики его элементов. Для решения задач моделирования необходимо, прежде всего, выработать определение понятия плодородия почвы, методы его измерения и правильного выделения основных элементов.

4.5. Определение понятия плодородия почвы и количественная оценка уровня почвенного плодородия

Понятие плодородия почвы весьма сложное. В буквальном смысле оно означает способность почвы «родить плоды», т. е. обеспечивать получение урожая растений. В общей форме можно принять, что плодородие почвы есть ее способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, воздухе, тепле, свете и физико-химических условиях.

В агрономическом (технологическом) смысле под плодородием понимают способность почвы служить растениям средой обитания,

источником и, главное, посредником в обеспечении земными факторами жизни (водой, питательными веществами и др.), обеспечивать возможность индустриального ведения производства, быть устойчивой против всех факторов разрушения.

В настоящее время можно встретить различные варианты толкования понятия плодородия почвы: естественное, природное, потенциальное, базисное, эффективное, текущее, полное. Природное плодородие почвы определяется как совокупность ее свойств и режимов, весь комплекс экологических условий, на фоне которых она развивается.

Представление о почве как функции проявления факторов почвообразования в их сложном взаимодействии сложилось на основании исследований В. В. Докучаева, основоположника генетического почвоведения.

Плодородие почвы — это ее способность обеспечивать растения питательными веществами, создавать для них определенный водный, воздушный и тепловой режимы и тем самым формировать урожай.

Различают потенциальное (естественное или искусственное) и эффективное (экономическое) плодородие почвы. **Потенциальное плодородие** определяется запасом в почве гумуса, питательных веществ и другими условиями жизни, являясь основным средством сельскохозяйственного производства. Проявление потенциального плодородия в производственной деятельности, характеризующееся возможностью использования растениями элементов питания для создания урожая, находит свое выражение в **эффективном плодородии** почв.

К основным показателям плодородия почв можно отнести следующие:

Агрохимические — содержание гумуса, реакция почвенного раствора (рН водной и солевой суспензии), состояние почвенного поглощающего комплекса (сумма поглощенных или обменных оснований, гидролитическая и обменная кислотности, емкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями), валовое содержание и подвижные формы макро- и микроэлементов, необходимых для питания растений.

Агрофизические — гранулометрический состав, структурное состояние, плотность сложения, общая порозность, водные, воздушные и тепловые свойства и режимы почвы.

Биологические — общее число микроорганизмов, их видовой и групповой состав, ферментативная активность, нитрифицирующая, денитрифицирующая и азотфиксирующая активность почвы, интенсивность разложения целлюлозы в почве, интенсивность выделения CO₂.

Экологические — содержание в почве веществ и элементов загрязнителей (тяжелые металлы, остаточные количества пестицидов и т. д.), патогенной микрофлоры и т. п.

Оптимальный уровень плодородия той или иной почвы определяется таким сочетанием ее основных свойств и показателей, при которых могут быть наиболее полно использованы все жизненно важные для растений факторы и реализованы возможности выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Те природные почвы, которые существовали 150-200 лет тому назад, к настоящему времени подверглись существенным изменениям. Это вызвано в первую очередь высокой степенью распаханности территории (на черноземах 80-90, на каштановых почвах 60-70%), обработками, мелиорацией, химизацией, заменой естественной растительности культурной, ежегодным безвозвратным отчуждением питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур. Распашка почв и замена естественной растительности культурной вызывает нарушение динамического равновесия в системе почва — растение. Следствием этого оказывается значительное изменение морфологии почв, их физических свойств, структурного состояния.

Практически все исследователи в своих работах отмечают устойчивую тенденцию к снижению содержания гумуса в почвах Южного Федерального округа, что связывается ими с недостаточным применением органических удобрений, нарушением технологии внесения минеральных удобрений, наличием эрозионных процессов, несовершенством системы обработки почвы и рядом других причин.

Вышесказанное, как правило, ведет к снижению уровня плодородия этих почв. Среди факторов, способствующих деградации плодородия, наиболее существенны:

Эрозия. Сравнительные данные первых трех туров почвенного картографирования в системе РосНИИЗемпроект и аэрофотосъемки практически всех районов Черноземья свидетельствуют, что в интервале 20-30 лет обследования площадь эродированных почв и овражно-балочных комплексов может возрасти в 1,5-2 раза.

Противоэрозионная эффективность основных агротехнических приемов в лесостепной и степной зонах России совместно с защитными лесополосами позволяет регулировать эрозию. Однако в настоящее время из-за высокой стоимости они не могут быть реализованы в производственных условиях.

Не соблюдаются на практике и почвозащитные севооборота (по сути зернотравяные и травозерновые) — часто просто по причине гибели посевов в неблагоприятные по климатическим условиям годы. Не воспринимаются такие севооборота и фермерскими хозяйствами неживотноводческого направления. Конъюнктура рынка в значительной мере способствует интенсификации монокультурного производства.

Выпахивание. «Выпахивание» (истощение, «утомление») является другим важнейшим фактором деградации черноземов. Это очень сложное, но по сути своей целостное агроэкологическое явление чаще разбивается на частные составляющие:

патогенное почвоутомление, — нарушение санитарного состояния почвы и загрязнение ее патогенными микроорганизмами и вредителями;

агрохимическое истощение — нарушение баланса питательных элементов вследствие превышения выноса с урожаем над возвратом с удобрениями;

агрофизическая деградация — ухудшение водно-воздушного режима вследствие утраты почвой структуры и уплотнения;

агротехническая деградация — ухудшение систем обработки вследствие тех же причин и сопутствующего ухудшения физико-механических свойств пахотного слоя;

биологическое обеднение — утрата или угнетение полезной микробиоты.

Дегумификация. Черноземы за последние сто лет потеряли свыше трети общих запасов гумуса. По данным РосНИИЗемпроекта, отрицательный баланс гумуса составляет в черноземах Южного Федерального округа 0,74-0,77 т/га. Средняя за столетие скорость

«безэродийной» дегумификации колеблется от 0,1 до 1,3 т/га в год. Последние годы характеризуются очередной активизацией процессов дегумификации — в связи с нарушением сложившихся ранее балансов органического вещества и питательных элементов в основных вариантах агроценозов.

Подкисление, ощелачивание и засоление. Прослеживается четко выраженная тенденция к подкислению пахотного слоя черноземов:

темпы приращения площадей кислых почв в ЦЧО — 0,6% в год, что является результатом периодического промывания верхней части профиля и резко отрицательного баланса кальция в земледелии.

В почвенном поглощающем комплексе (ППК) пахотных черноземов наблюдается увеличение доли поглощенного водорода, причем в пахотных почвах он регистрируется в более глубоких слоях профиля по сравнению с целинными разностями. В ряду черноземных подтипов наибольшее содержание в ППК водорода и, соответственно, потери кальция, фиксируются у оподзоленных черноземов (около 9%) и меньше — у обыкновенных (до 4%).

Загрязнение и биохимическое «утомление». Слабое загрязнение может создаваться пятью (из семи) элементами: свинцом, ртутью, медью, цинком и кобальтом. Умеренное и среднее загрязнение создается свинцом и ртутью. Повышенное загрязнение создает свинец. Максимальное валовое содержание меди, цинка, молибдена превышает их допустимую концентрацию в три-четыре раза, свинца и кобальта — в пять раз, а кадмия и ртути — в семь-восемь раз. Локальное загрязнение может превышать этот фон на 1—2 порядка.

«Утомление» черноземов приводит к повышению удельного веса менее ценной, а то и отрицательной микрофлоры, снижению биохимической активности черноземов. В «утомленном» черноземе более быстрыми темпами, по сравнению с севооборотом, происходит подкисление и деградация. Эффективными мероприятиями по снижению действия почвоутомления являются: кратковременная замена фитоценоза, чистый пар, внесение органических удобрений, замена монокультуры на плодосмен (севооборот).

Уровень плодородия почв является определяющим фактором получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур, в связи с чем в условиях современного земледелия, вопросы

сохранения и повышения плодородия почв приобретают первостепенное значение.

Одним из основных показателей потенциального плодородия почвы является содержание в ней органического вещества. **Органическое вещество** - важный источник элементов питания для растений. В нем содержится почти весь запас азота, значительная часть фосфора и серы, а также часть калия, кальция, магния и других питательных веществ. Оно играет существенную роль в создании агрономически водопрочной структуры, обуславливает физические свойства почвы, определяет поглотительную способность, оказывает непосредственное влияние на водный, воздушный и тепловой режимы.

Плодородие почв можно оценить двумя основными способами: первый — оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв; второй — разработка регрессионных моделей, связывающих уровень урожайности с различными элементами почвенного плодородия.

4.6. Оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв

Балл бонитета почвы показывает отношение ее плодородия (в процентах) для данной культуры к плодородию принятой за эталон почвы, оцениваемому в 100 %. В настоящее время все принципы и методы, используемые при региональных бонитировках почв, можно свести в два основных направления: методы бонитировки на основе количественного учета показателей свойств почвы, коррелирующих с урожайностью, и методы, которые применяют для составления бонитировочных шкал на основе данных урожайности с привязкой их к группам почв или почвенным разновидностям.

Каждое направление, в свою очередь, представлено группами методов, сходных по какому-либо признаку.

К первой группе первого направления относятся такие методы, на основе которых баллы бонитетов почв рассчитывают как величины, пропорциональные количественным значениям свойств почв, коррелирующих с урожайностью основных сельскохозяйственных культур, главным образом зерновых. Полученные шкалы бонитетов

обычно проверяют путем сопоставления их с имеющимися данными по урожайности для этих почв.

Методы второй группы, так же как и первой, учитывают количественные показатели свойств почв, но полученные в результате расчетов баллы бонитетов при этом корректируются с помощью дополнительной шкалы по урожайности. Оценку проводят в два этапа: на первом получают шкалы баллов бонитетов, составленные по свойствам почв, на втором баллы бонитетов подвергают корректировке путем расчета средней арифметической величины между этими значениями баллов бонитетов и по сопоставимой урожайности.

Применяют и другие методы корректировки баллов бонитетов, полученных по свойствам почв. В результате первоначальные баллы могут изменять свое значение в окончательной бонитировочной шкале.

К первой группе методов второго направления бонитировки почв относятся методы, при использовании которых бонитировочные шкалы составляют на основе статистических данных по урожайности в хозяйствах с привязкой этих данных к группам почв или типам земель.

Вторая группа включает методы составления бонитировочных шкал на основе прямого учета урожайности сельскохозяйственных культур. Данные прямого учета урожайности привязывают к почвенным разновидностям или определенным свойствам почв.

Для учета влияния на плодородие почв их особенностей (механический состав, эродированность, гидроморфизм, засоленность или солонцеватость и др.) применяют поправочные коэффициенты.

Разработка регрессионных моделей. Второй путь установления связи урожая со свойствами почв основан на использовании регрессионных моделей. Обычно применяют полиномиальную функцию плодородия (У):

$$Y = a_0 + a_1X_1^2 + b_1X_1^2 + a_2X_2^2 + b_2X_2^2 + c_1X_1X_2 \dots,$$

где a, b, c — эмпирические коэффициенты;

X_1, \dots, X_n — факторы плодородия почвы;

$b_1 \dots b_n$ — некоторые функции, определяющие влияние отдельных факторов на урожай.

Выбор элементов плодородия почвы, которые отражают ее состояние и должны учитываться моделью, — один из важнейших этапов системного анализа. Общее число элементов не должно

превышать 15—20. В противном случае сложность модели возрастает в такой степени, что она становится непригодной к практическому использованию.

Таковы наиболее общие положения, учитывающиеся при разработке базовых моделей, которые служат фундаментом для развития работ по математическому моделированию плодородия почв.

Модели состояния плодородия почв служат для получения справочных данных, с которыми можно сопоставлять фактическое состояние плодородия конкретного поля или региона. Они позволяют выяснить, какие реально достижимые цели могут быть поставлены перед системой управления плодородием в перспективе на ряд лет или оперативно на данный момент, а какие цели не будут достигнуты или сопровождаются нежелательными побочными последствиями. Модели процессов могут прогнозировать последствия, например, мелиорации или сезонную динамику почвенно-экологических и биологических процессов. Эти модели используют для оперативного управления формированием, урожая.

В настоящее время для практических целей применяют простые по структуре математические модели прогнозирования состояния или динамики отдельных элементов плодородия — содержания гумуса и его качественных показателей, подвижных форм элементов минерального питания, кислотности почвы. Эти агрономически важные элементы в основном определяют плодородие почвы и используются для прогнозирования урожайности.

Управление плодородием почвы в конечном итоге — это управление его отдельными элементами, в первую очередь теми из них, которые лимитируют урожай.

4.7. Моделирование содержания гумуса в почве

Гумус образуется в результате сложных биологических процессов распада и синтеза органических веществ и взаимодействия их с жидкой, твердой и газообразной фазами почвы. В нем содержится 80% серы и почти все количество азота и углерода, адсорбируется около 40—60% фосфора почвы. Он является энергетическим материалом для жизнедеятельности микроорганизмов и грибов, способствующих образованию доступных для растений веществ. При взаимодействии с

минеральной частью почвы органическое вещество образует сложные коллоиды, являющиеся основой структуры почвы. Кроме того, органическое вещество почвы обладает значительно более высокой поглотительной способностью, чем минеральные коллоиды.

Чем выше содержание гумуса в почве, тем лучше она удерживает питательные элементы, существенно снижая их потери, лучше поглощает и удерживает элементы-загрязнители (тяжелые металлы, радионуклиды, остаточные количества пестицидов), снижая их поступление в растения. В условиях интенсивного сельскохозяйственного производства трансформация гумусовых веществ во многом зависит от проводимых в агроценозах агротехнических приемов.

Считалось, что после распашки черноземов в Краснодарском крае потери гумуса идут высокими темпами, затем снижаются, но качественный состав гумуса остается постоянным. Позже, когда интенсификация земледелия возросла в основном за счет химизации и, в частности, внесения высоких доз физиологически кислых удобрений, изменились условия гумусообразования. Увеличилось количество подвижных фракций гумуса. Было отмечено явление «стекания» гумуса в нижележащие горизонты. Этот процесс носит двойственный характер: положительный — активизация почвообразовательных процессов в глубоких горизонтах, отрицательный — вместе с подвижными фракциями гумуса за пределы корнеобитаемого слоя уходят питательные вещества и в первую очередь — азот.

Подкисление сопровождается потерей кальция, что ведет к ухудшению структуры почвы. Особенно ярко это проявляется на орошаемых черноземах, где, за счет более интенсивной микробиологической деятельности и промывного режима, темпы минерализации органического вещества значительно выше, чем на неорошаемых.

В последнее время появилась необходимость дополнительного внесения в почву таких элементов, как кальций, магний, сера, марганец и других, что связано с возросшим их отчуждением урожаями возделываемых культур. Это привело не только к дефициту этих элементов в почвах, но и к нарушению их соотношения, динамического

равновесия, приводящему к блокировке поступления в растения одних элементов другими.

Анализ трансформации плодородия почв в длительных стационарных опытах Юга России показал, что уровень органического вещества поддерживается определенным набором элементов из запасов почвенного плодородия. Этот же набор необходим и для создания ежегодной биомассы возделываемых культур. Складывается ситуация, когда искусственно поддерживается дефицит Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Na и других элементов катионной группы зольных элементов почвенного поглощающего комплекса, необходимых одновременно для поддержания уровня содержания органического вещества и формирования биомассы растений. Это ведет к нарушению равновесия между органической и минеральной частями почв, что является в конечном итоге причиной снижения эффективного плодородия почв, даже, несмотря на применение азотно-фосфорно-калийных минеральных удобрений. Наиболее ярко это проявляется при монокультуре и бессменных посевах.

Данные 8-го тура обследования почв пашни свидетельствуют о том, что содержание гумуса в почвах большинства районов Ставропольского края продолжало снижаться. Убыль гумуса подтверждается не только установленным отрицательным балансом, приведенным выше, но и данными химических анализов черноземов и каштановых почв в динамике.

Острота проблемы азота в плодородии почв и питании растений также связана с тем, что основная часть почвенного азота (70—90%) входит в состав гумуса, а доступные растениям соли азотной кислоты и аммония хорошо растворимы и легко вымываются или улетучиваются, переходя в газообразные формы. Количество минерального азота, усвояемого растениями в почве, как правило, не превышает 1—3% от его общих запасов.

При складывающейся в современных условиях насыщенности севооборотов удобрениями вряд ли возможно поддержание плодородия почвы на прежнем уровне (1990 г.), когда внесение туков систематически снижается.

В настоящее время большую тревогу вызывает значительное снижение запасов гумуса в почве вследствие усиления минерализации

органического вещества в условиях интенсивного использования пашни. В результате обследования длительных стационаров научно-исследовательских учреждений Юга России, заложенных 10-40 лет назад, установлено — интенсификация севооборотов посредством насыщения их пропашными культурами приводит к снижению содержания гумуса в типичном, на стыке с выщелоченным, мицеллярно-карбонатном черноземе.

В разных почвенно-климатических условиях дозы навоза, необходимые для компенсации потерь гумуса, несколько различаются. На черноземах Центрального Предкавказья бездефицитный баланс гумуса обеспечивается внесением 5—6 т/га навоза в год, что позднее подтвердилось расчетными методами в Ставропольском крае. Изложенному созвучны и более обнадеживающие результаты, полученные нами в последние годы на выщелоченных черноземах в стационарном многофакторном опыте Ставропольского государственного аграрного университета.

За десять лет при возделывании полевых культур без применения удобрений содержание гумуса в пахотном слое снизилось с 6,37 до 6,22%. Среднегодовой расход гумуса, не компенсируемый поступлением пожнивно-корневых остатков, за счет минерализации органического вещества почвы составил 4,34 ц/га. Насыщение зерно-пропашного севооборота 2,5 т/га навоза в сочетании с 60 кг/га NPK в виде минеральных удобрений не улучшает баланс гумуса: поступившие в почву с удобрениями питательные вещества главным образом используются на формирование дополнительного урожая. Двойная насыщенность севооборота удобрениями (120 кг/га NPK в сочетании с 5 т/га навоза) обеспечивает бездефицитный баланс гумуса. При насыщенности 180 кг/га NPK в сочетании с 7,5 т/га навоза отмечена тенденция повышения содержания гумуса. В бессменном черном пару потери гумуса за счет минерализации, по средним многолетним данным, ежегодно достигают 7 т/га.

Потери гумуса из почвы просчитываются исходя из величины выноса азота с урожаем небобовых культур в среднем по севообороту за минусом использованного из удобрений и вновь образовавшегося гумуса:

$$Г_{п} = (В_{у} \times К_{п}) \div 0 - Г_{в.о.}$$

где G_p — потери гумуса, т/га;

V_y — вынос азота урожаем, кг/га;

K_p — коэффициент использования азота почвы (0,85—0,88);

50 — коэффициент перевода азота в гумус;

$G_{в.о.}$ — гумус, вновь образовавшийся за счет пожнивно-корневых остатков, т/га.

Данные, полученные предлагаемым расчетным методом, согласуются с результатами трудоемких химических анализов. На долю азота гумуса в выносе приходится 85% в общепринятом севообороте и 88% — с непрерывным использованием пашни.

Кроме частных, отмеченных выше, выявлены тенденции, имеющие, независимо от зональных условий, общее значение. Интенсивное использование пашни без системного применения удобрений приводит к постепенным возрастающим потерям гумуса. Органоминеральные системы удобрения значительно замедляют процесс распада гумуса, по сравнению с минеральной системой удобрения.

Минерализация гумуса интенсивнее протекает в средней части почвенного профиля (60—110 см). Потери гумуса заметно возрастают при орошении. Органоминеральная система удобрения способствует стабилизации процесса накопления — разложения гумуса. Длительное возделывание люцерны обогащает почву гумусом. При бессменном возделывании кукурузы приостановить снижение темпов разложения гумуса с помощью удобрений не представляется возможным.

Общие тенденции временных изменений содержания гумуса под воздействием агрохозяйственной деятельности в черноземах обыкновенных, типичных, выщелоченных и лугово-каштановых почвах Юга России позволяют сделать главный вывод: оптимальное сочетание известных агротехнических приемов в севообороте — травосеяние, плодосмен, внесение органических удобрений и их смесей с минеральными обеспечивает в интенсивном земледелии бездефицитный баланс гумуса.

Время и использование почв в сельском хозяйстве оказывают существенное влияние на ход почвообразовательного процесса, на формирование свойств, обеспечивающих оптимальное развитие агрофитоценозов. Утрата органического вещества — одно из проявлений деградации почв. В результате интенсивного использования, по

различным оценкам, в почве уже потеряно от 25—30 до 50 и более процентов гумуса, содержавшегося в целинных почвах.

Пашня в РФ занимает 132,0 млн. га, или 7,7% от земельных угодий, в т. ч. сельскохозяйственного назначения 129,1 млн. га. На долю черноземов приходится около 120 млн. га, или около 7% общей площади и больше $\frac{1}{2}$ всей пашни, на них производится почти 80% земледельческой продукции; на долю каштановых почв приходится 10,6% пашни; солонцов, солончаков и солодей – 3,4%. За последние 20 лет запасы гумуса на пашне сократились на 25—30%; 16,5 млн. га характеризуются очень низким и 21 млн. га — низким содержанием органического вещества.

Кубанские ученые (КНИИСХ), исследовавшие черноземы, выявили, что в почвах с ограниченным внесением удобрений с 1928 по 1958 г. содержание гумуса в 0—8 см слое почвы уменьшилось на 18,6%, а с 1958 по 1978 г. – на 20,6%. Для слоя 40-45 см эти изменения были еще контрастней и составили соответственно 3,3 и 26,1%. Содержание гумуса в 0—40 см слое почвы за 50-летний период снизилось на 34,5%.

По данным ЮжГипрозема, за последние 20 лет в Ростовской области содержание гумуса в почве уменьшилось на 17,1%, по почвенно-климатическим зонам на 12,0—22%, а в районах: Константиновском – на 30,2, Шолоховском, Цимлянском – на 25,0, Бакаевском, Каменском, Песчанокопском, Семикоракорском — на 20%.

Таким образом, динамика гумуса в различных почвах Северного Кавказа имеет единый ход, но уменьшение идет с неодинаковой интенсивностью, что обусловлено гидротермическими условиями, применяемыми системами земледелия и другими факторами.

В основу оценки динамики гумуса во времени под влиянием сельскохозяйственной деятельности и современного почвообразовательного процесса положен один из известных методических подходов - сопоставление результатов анализа почвы перед закладкой опыта и по истечении определенного времени:

— в резком уменьшении содержания гумуса в первые 18—20 лет, или двух ротаций 9—10-польных севооборотов, как следствие несоответствия между процессами новообразования гумуса и его разложением;

— потери гумуса, связанные с развитием эрозионных процессов (1953, 1968—1973 г.г.) с последующим «разбавлением» пахотного слоя подпахотным и нерациональным их использованием под пашню, достигают более 50% по сравнению с целинными аналогами;

— баланс гумуса во многом определяется погодными условиями: в полосе влажных лет усиливаются процессы гумификации, а в засушливой — минерализации; степень гумификации органического вещества низкая и колеблется от 11,3—12,0 до 26,0—34,0%, а количество негидролизуемого остатка очень высоко и достигает 80%, что дает «стабильность» содержанию гумуса;

— последующие ротации севооборотов приводят содержание гумуса в соответствие с агрофитоценозами, в результате чего увеличивается количество поступающего в почву свежего органического вещества, наступает стабилизация в процессах разрушения гумусовых веществ и устанавливается динамическое равновесие гумуса.

4.8. Моделирование содержания подвижных питательных веществ в почве

Прогнозирование азотного режима почвы. Содержание общего азота в почвах Ставрополя находится в пределах 0,15-0,30%. Питание растений предопределяет уровень содержания в почве доступных форм азота. Известно, что азот почвы представлен органическими соединениями, входящими в состав гумуса, растительных и животных остатков, микроорганизмов — 99%. В составе органического азота 65—82% приходится на долю негидролизуемой фракции, трудногидролизуемого азота — 5—10 %. Азотсодержащие органические соединения становятся доступными растениям лишь после минерализации. Из соединений минерального азота, используемых растениями в значительных количествах, преимущественно являются $N-NO_3$ и $N-NH_4$.

Материалы комплексной экспедиции по Югу России свидетельствуют о том, что ни одна из применявшихся до 1979 г. систем удобрения в обследованных стационарах не позволяла сохранить запасы валового азота на исходном уровне.

Так, типичный мицеллярно-карбонатный чернозем 5-польного севооборота Карачаево-Черкесского НИИСХ с общепринятым ис-

пользованием пашни потерял в верхнем 0—20 см слое почвы 15% первоначального содержания азота, а в слое почвы 30—40 см потери были еще более существенными. В севообороте с непрерывным использованием пашни темпы потерь азота замедляются, но не настолько, чтобы сохранить его на исходном уровне. Как и в севообороте с общепринятым использованием пашни в слое почвы 30—40 см потери азота значительнее и достигают 19% от исходного. Наименьшими оказываются потери в 8-польном севообороте с органоминеральной системой удобрений, предусматривающей внесение навоза в одно поле из расчета 60 т/га. Дробление этой дозы навоза между полями севооборота явно снижает его положительное влияние на поддержание запасов валового азота.

Обыкновенный мицеллярно-карбонатный чернозем 10-польного севооборота (бывшая Кабардино-Балкарская ГСХОС в зоне недостаточного увлажнения) теряет валовые запасы азота в условиях естественного увлажнения независимо от систем удобрения, но наибольшие потери оказались на неудобренных полях и с минеральной системой удобрения.

В круговорот азота вовлечен почти метровый слой почвы. При паровании происходит накопление нитратов по всему профилю, и, особенно, в пахотных и подпахотных слоях. К началу весенней вегетации повышение запасов нитратного азота отмечается в большей степени на глубине 40—60 и 60—80 см. По мере созревания растений происходит резкое ухудшение азотного режима метрового слоя почвы, что обусловлено как выносом этого элемента культурой, так и влагообеспеченностью почвы.

В течение ротации севооборота, его звеньев, периода вегетации отдельных культур содержание основных элементов питания в пахотном слое почвы весьма динамично. Это зависит от погодных условий, интенсивности потребления их растениями, уровня применения удобрений.

Из соединений минерального азота наиболее динамично содержание нитратного азота (N—NO_3^-). В черноземах и каштановых почвах максимум содержания нитратов под озимыми культурами приходится на апрель, под пропашными — на вторую половину апреля — май. В дальнейшем содержание N—NO_3^- в связи с затуханием процессов и

возрастающим потреблением его растениями снижается. К уборке содержание $N-NO_3^-$ достигает минимума. На уровне содержания в почве нитратов основывается почвенная диагностика. В предпосевной период для озимой пшеницы оптимум содержания нитратов находится в пределах 25 и более мг/кг почвы.

В предпосевной период озимой пшеницы содержание NO_3^- существенно зависит от предшественников. Влияние предшественников на уровень накопления нитратов проявляется через оставляемые ими пожнивно-корневые остатки, характер потребления азота предшественником, продолжительность периода от уборки предшественника до посева озимой пшеницы, степень увлажнения и температурный режим почвы в этот период. По уровню накопления нитратов предшественники располагаются в следующем порядке: занятой пар — горох и другие бобовые — колосовые — кукуруза на силос — кукуруза на зерно — подсолнечник — сахарная свекла.

В условиях Юга России к посеву озимой пшеницы в пахотном слое накапливается NO_3^- (мг/кг почвы): после горохо-овсяной смеси — до 60, гороха — 45—60, озимой пшеницы — 35—40, кукурузы — 30—40, подсолнечника, сахарной свеклы — 15—35. Возможный после уборки колосовых, кукурузы, подсолнечника и сахарной свеклы острый дефицит нитратного азота предполагает внесение под одну из допосевных культивации азотных удобрений. Влияние предшественников отчетливо сохраняется до массового кущения. Перед уборкой пшеницы содержание нитратов в слое почвы 0—20 см, независимо от предшественников, составляет 3—12 мг/кг почвы.

Применение удобрений способствует улучшению азотного режима и, как следствие, лучшему росту и развитию сельскохозяйственных культур, большему накоплению сухого вещества, а в конечном итоге формированию высокого урожая.

Содержание NO_3^- в межфазный период посев — всходы озимой пшеницы, размещенной в севообороте, достигало: после горохо-овсяной смеси (занятой пар) без внесения удобрений — 48—50, при насыщенности севооборота 60 кг/га $NPK+2,5$ т/га навоза — 58—63; при двойной насыщенности — 68—70, тройной — 75—81 мг/кг почвы в 0—20 см слое. Аналогичная картина просматривается и при выращивании

озимой пшеницы после гороха, но при несколько меньших абсолютных показателях (70 мг/кг почвы).

После предшественника кукуруза на силос и озимая пшеница содержание NO_3^- ко времени посева озимой пшеницы в пахотном слое без применения удобрений достигает 34—39 мг/кг. С внесением удобрений содержание его повышается до уровня неудобренного занятого пара и гороха. Это оказывает определяющее влияние на рост и развитие растений в осенний период.

В течение вегетации озимой пшеницы содержание нитратов в почве в связи с питанием растений снижается и перед уборкой колеблется в пределах 8—14 мг/кг почвы.

Доступный растениям аммоний в основном представлен обменной формой. Он содержится преимущественно в верхних слоях почвы и менее динамичен в течение вегетации сельскохозяйственных культур. В отличие от нитратов, аммоний менее подвергается вымыванию в подпахотные горизонты.

Доля аммонийного азота в пахотном горизонте была более существенная по сравнению с N—NO_3^- . Содержание N—NH_4^+ под озимой пшеницей в фазу массовых всходов составляет: после горохо-овсяной смеси 39—43, гороха — 34—40, озимой пшеницы — 40—44, кукурузы на силос — 35—38 мг/кг. Под влиянием удобрений повышается содержание N—NH_4^+ в почве. В течение вегетации снижение содержания N—NH_4^+ , происходит постепенно, не так резко, как N—NO_3^- .

4.9. Прогнозирование фосфатного потенциала почвы

Природные запасы фосфора определяются содержанием его в материнских породах и характером почвообразовательного процесса. Среди неорганических соединений фосфора в почвах преобладают ортофосфаты кальция, алюминия и железа. При этом первая форма доминирует в почвах Юга России. Содержание доступного растениям подвижного фосфора в каштановых почвах и черноземах колеблется в пределах 10—60 мг/кг почвы и более (по Мачигину). Оптимальный уровень для формирования высокого урожая колеблется: пшеницы — 30—35, подсолнечника и гороха — 27—33, кукурузы — 25—30 мг/кг почвы.

В отличие от азота интенсивное использование пашни в севооборотах Юга России с применением известных приемов повышения плодородия почвы не ведет к снижению валовых запасов фосфора. Так, на типичных мицеллярно-карбонатных черноземах в зоне достаточного увлажнения в 5-польном севообороте при разной насыщенности удобрениями ($N_{60}P_{60}K_{60}$), независимо от способа использования пашни, в почве произошло недостоверное и равное по величине снижение запасов валового фосфора. В 8-польном севообороте этой же зоны при различных системах удобрений четкого влияния временного фактора на запасы фосфора, по сравнению с исходными, не установлено.

Стабильное содержание фосфора объясняется взаимодействием растений с почвой, вносимыми удобрениями и сопровождается увеличением подвижного фосфора на всю глубину 0—150 см слоя почвы. Если в севообороте с общепринятым использованием пашни в исходных образцах (1969 г.) содержание P_2O_5 по профилю снижалось с 17,5 в слое 0—20 до 3,4 мг/кг почвы в слое 140—150 см, то в течение более 10 лет произошло увеличение соответственно до 27,6—4,5 мг/кг почвы. За это же время в севообороте с непрерывным использованием пашни в слое почвы 0—20 см содержание P_2O_5 увеличилось более чем в 3 раза по сравнению с исходным (54 мг/кг почвы), в слое 140—150 см сохранилось на уровне исходного (3,0 мг/кг почвы).

Следовательно, агрохозяйственная деятельность человека положительно влияет на формирование фосфатного режима по всему почвенному профилю, заметно обогащает подпахотный горизонт, т. е. фосфор не выносится из нижних горизонтов (как это принято думать) корневой системой, а наоборот, корневая система, обогащенная фосфором, положительно влияет на содержание P_2O_5 во всем корнеобитаемом слое. Это происходит под влиянием вносимых удобрений, подкисления почвы и корневых выделений.

По содержанию подвижного фосфора удобряемые и не удобряемые поля 8-польного севооборота не различались между собой. Применение органоминеральной системы удобрений, с внесением навоза в одно поле, повышает содержание подвижного фосфора в верхней части гумусового горизонта (0—20 см). Здесь, по сравнению с не удобренными полями, его оказалось больше на 6,6 мг/кг почвы.

Очевидно, это является следствием большого содержания органического вещества в почве в связи с применением высоких доз навоза (50 т/га).

В зоне недостаточного увлажнения в неорошаемом 10-польном севообороте без применения удобрений, под влиянием более чем 30-летнего использования обыкновенных, на стыке с каштановыми почвами, мицеллярно-карбонатных черноземов, произошло уменьшение подвижного фосфора по сравнению с исходным в 1,5—2,0 раза, минеральная и органоминеральная система удобрения повысили содержание его в слое 0-20 см до 52,76—65,26 мг/кг почвы.

Систематическое орошение, без применения удобрений, приводит к еще большему снижению содержания подвижного фосфора по сравнению с естественным увлажнением. Различные системы удобрения способствуют накоплению подвижного фосфора в почве орошаемого севооборота, наиболее эффективной оказывается органоминеральная. Так, если в слое почвы 0—20 см на контроле P_2O_5 содержится 8,75 мг/кг, то при применении минеральной и органоминеральной систем удобрения содержание подвижного фосфора увеличивается до 35,75 и 51,75 мг/кг почвы.

Аналогичное положение с подвижным фосфором в почве складывается под монокультурой кукурузы в орошаемых условиях.

Таким образом, интенсификация земледелия всеми известными приемами и, прежде всего, через посредство химизации, орошения и оптимальной механизации процессов земледелия, положительно сказывается на фосфорном режиме почвы, что подтверждается практикой.

История каждого участка по общей сумме внесенного в предшествующие годы фосфора позволяет прогнозировать обеспеченность почв этим элементом. Оптимальным уровнем содержания подвижного фосфора в черноземных почвах является 10—15 мг/100 г почвы (по Чирикову), в карбонатных черноземах и каштановых почвах — 3,0—3,5 мг/100 г почвы (по Мачигину). В первом случае для увеличения его содержания на 1 мг/100 г почвы сверх выноса требуется внести 50-70, во втором — 90-120 кг/га.

Среди всех минеральных удобрений фосфорные оказывают наибольшее влияние на фосфатный режим почв. Поэтому применение

фосфорных удобрений — одно из важнейших условий повышения плодородия почв и, следовательно, увеличения урожайности культур.

Доступность растениям вносимых с удобрениями фосфатов тесно связана с превращениями их в почве. На основании экспериментальных данных было выделено 4 группы процессов, влияющих на трансформацию фосфатов в почве:

— геохимические — проявляются через увеличение разнообразия форм фосфатов в почве и через вынос-приход фосфора из зоны почвообразования путем разрушения первичных фосфорсодержащих минералов;

— биологические (высшие растения и низшие организмы) — оцениваются через суммарное количество фосфора, поглощаемого растениями и микроорганизмами. Через иммобилизацию фосфатов например, большая часть фосфора одной популяции микроорганизмов используется, после их отмирания, последующими популяциями;

— химические (включая биохимию и физхимию) — обусловлены в основном внешними условиями (гидротермические, ОВП, pH, концентрационные), значительно влияющими на состав подвижных фосфатов;

— антропогенные (удобрения и мелиоранты) — наиболее сильно проявляются при внесении фосфорсодержащих удобрений и в связи с отчуждением фосфора из почвы с урожаями.

Установлено, что систематическое внесение возрастающих доз фосфорных удобрений способствует накоплению в почве прежде всего легкодоступных растениям одно- и двузамещенных фосфатов кальция, а содержание трехзамещенных фосфатов кальция, железа и алюминия повышается незначительно. Наибольшее количество хорошо растворимых фосфатов образуется в типичном и выщелоченном черноземах. При систематическом применении органических удобрений (навоза) содержание подвижного фосфора возрастает. Это связано с тем, что поглощение фосфат иона органическими соединениями сохраняет его в доступной для растений форме.

Как правило, содержание фосфора в почве выше весной, а к лету и осени, к концу вегетации растений, снижается в 1,5—2 раза.

Это объясняется двумя причинами: потреблением его растениями и уменьшением влажности почвы, т. к. между содержанием в почве

влаги и подвижных фосфатов имеется прямая зависимость. Поэтому под озимой пшеницей, посеянной по черному пару, содержание подвижных фосфатов выше, чем под озимой пшеницей после подсолнечника или кукурузы, находящейся в худших условиях влагообеспеченности.

К концу вегетации, по мере уменьшения влажности, в почве освобождаются активные места на поверхности коллоидных и других частиц, замещаемые фосфат-ионами. Фосфат-ионы в результате физико-химического взаимодействия также адсорбируются при высыхании почвы в местах растрескивания «гумусовой пленки». Следовательно, все приемы, обеспечивающие накопление и сохранение влаги в почве, способствуют и накоплению усвояемых форм фосфатов.

Из фосфатов кальция во всех черноземах преобладают трехосновные. По данным Симакина (1983), наибольшее количество фосфатов этой формы (30-33% от валового содержания) имеется в карбонатном черноземе и меньше (20—22%) — в типичном и выщелоченном. Органофосфатов, относящихся к ближайшим резервам фосфора для растений, меньше в обыкновенных и больше в выщелоченных черноземах.

В.П. Суетовым (1978) в исследованиях, проведенных методом радиоактивных индикаторов, показано, что в выщелоченных и карбонатных черноземах при низких дозах внесения фосфорных удобрений поглощается 55—60% фосфора, а при высоких — 30—40%. Наиболее интенсивно этот процесс идет в первые минуты после внесения фосфорного удобрения и заканчивается на третьи-восьмые сутки.

Доля связанных фосфатов увеличивается с повышением дозы удобрений, а наименьшая их ретроградация наступает при содержании в почве 30—50 мг/кг почвы подвижных фосфатов, определяемых по методу Мачигина. Это соответствует повышенной и высокой обеспеченности почв фосфором.

Обыкновенные черноземы с большой способностью связывать фосфаты в менее подвижные формы обладают устойчивым длительным последствием фосфорных удобрений при внесении не менее 90 кг/га P_2O_5 . Устойчивое последствие фосфора установлено и на выщелоченных черноземах в условиях длительного стационарного

опыта. При внесении фосфорного удобрения один раз в 2 года оно обеспечивало такие же приросты урожая, как и ежегодное.

Большое значение для характеристики плодородия почв по содержанию подвижных форм фосфора имеют оптимальные сроки отбора почвенных образцов и факторы, влияющие на динамику его содержания в различных почвах в зависимости от климатических зон.

Исследованиями, проведенными Агрохимцентром «Ставропольский» в течение трех лет в хозяйствах различных зон, показано, что динамика подвижных форм фосфора в почве под озимой пшеницей мало зависела от предшественника и влагообеспеченности почвы в период вегетации.

Содержание в почве подвижного фосфора за счет средних норм удобрений повышается менее значительно, чем $N-NO_3^-$ и $N-NH_4^+$. Содержание подвижного фосфора под влиянием удобрений заметно повышается со 2—3-го года ротации. Более существенно это отмечается под озимой пшеницей, размещаемой после занятого пара, получающего навозно-фосфорное удобрение. К концу вегетации озимой пшеницы содержание P_2O_5 снижается на 8—13 мг и составляет 16—18 мг/кг почвы. Во все годы исследования наиболее значительно содержание P_2O_5 (с 28—29 до 36,5 мг/кг почвы) повысилось под горохоовсяной смесью.

В севообороте к концу ротации содержание фосфора стабилизировалось. Если перед закладкой его в пахотном слое содержалось около 30 мг/кг почвы P_2O_5 , то возделывание сельскохозяйственных культур без удобрения в течение 10 лет снизило содержание фосфора до 25 мг/кг почвы. Насыщенность севооборота 60 кг/га NPK + 2,5 т/га навоза (1-я система) поддерживает содержание подвижного фосфора на исходном уровне (28—29 мг/кг почвы). При двойной насыщенности севооборота удобрениями содержание P_2O_5 в пахотном слое за ротацию увеличивалось на 86 кг/га. Увеличение насыщенности севооборота до 180 кг/га NPK + 7,5 т/га навоза (3-я система) к середине 2-й ротации заметно повысило содержание P_2O_5 в пахотном слое (35 мг/кг почвы) по сравнению с исходным.

4.10. Прогнозирование калийного потенциала почвы

Калий находится в почве главным образом в виде первичных и

вторичных минералов, таких, как полевой шпат, слюда, иллит, вермикулит и др. На черноземных почвах преобладающими являются монтмориллонит, каолинит и гидрослюда. В почвах Юга России содержание калия колеблется в пределах 2,2—2,5%. Питание растений осуществляется в основном за счет его обменной формы. Содержание обменного калия в почве определяется ее минералогическим и гранулометрическим составом и достигает 200—600 и более мг/кг почвы.

Мицеллярно-карбонатные черноземы Юга России отличаются довольно большими запасами валового калия. В горизонте А они достигают 2,5—3,0%, в нижних (В, С) — 1,0—1,2%. Характерно высокое содержание обменного калия (400—500 мг/кг почвы) в пахотном слое с плавным уменьшением по глубине разреза. Проведенные нами исследования подтверждают это положение для неорошаемых и орошаемых севооборотов. В 5-польных севооборотах, независимо от способа использования в них пашни, произошло заметное увеличение содержания обменного калия от исходного по профилю разреза. В 8-польном севообороте без применения этого элемента в составе удобрений отмечается тенденция к снижению содержания обменного калия по всему профилю.

Минеральная система удобрения, предусматривающая небольшие дозы калия (K_{30}), обеспечивает поддержание обменного калия в слое 0—60 см на исходном уровне, но заметно обогащает 100—150 см толщю почвы. Органоминеральная система удобрения способствует обогащению почвы обменным калием, особенно при дробном внесении в несколько полей севооборота.

В связи с изложенным, в ряде хозяйств, как в севооборотах, так и на отдельных участках, отмечается существенное уменьшение содержания калия.

Важным свойством почвы в отношении калия является фиксация калия удобрениями глинистыми минералами. Масштабы этого явления зависят от наличия в твердой фазе почвы минералов с определенными межполосными расстояниями, позволяющими им высокоселективно поглощать калий в зависимости от реакции среды, а также от чередования циклов увлажнения и иссушения (увеличивает фиксацию). Если фиксация отсутствует, то необходимо учитывать возможный

негативный концентрационный эффект от внесения калийных удобрений. Фиксированный калий может сдвигать равновесие между формами, а при сильном истощении почвенного раствора становится доступным для растений.

Относительно влияния калийных удобрений на другие формы калия в почве имеются различные данные. Западноевропейские исследователи доказывают, что увеличение обменных форм наблюдается после заполнения всех специфических позиций. Российские ученые отмечают одновременное пополнение необменных и обменных форм калия в почве.

На калийное состояние почвы специфическое влияние оказывают органические удобрения. После их внесения потребность в калийных удобрениях резко снижается, т. к. этот вид удобрений содержит достаточное количество легкодоступного калия, что подтверждается экспериментальными материалами.

Отмечается, что органические удобрения, оказывая благоприятное воздействие на буферную способность почв, сглаживают возможное отрицательное действие минеральных удобрений.

При возделывании культур в зоне рискованного земледелия эффект от калия в один год из трех лет может быть достаточным для окупаемости его ежегодного внесения.

Эффективность калийных удобрений зависит не только от содержания калия в почве, но и от сопутствующих условий — интенсивности севооборота и набора культур, содержания фосфора в почве и фона удобрений, реакции среды и мелиоративных мероприятий.

Вынос калия сельскохозяйственными культурами не компенсируется, так как не вносятся калийные удобрения. Это привело к нарушению его баланса в почве. В частности, в среднем за 5 лет вынос калия с урожаями возделываемых культур в Апанасенковском, Арзгирском, Левокумском, Нефтекумском и Курском районах Ставропольского края компенсировался в среднем на 46—57%.

Потребление калия на формирование урожая за это же время было в пределах 170 тыс. т, а внесение с удобрениями — 105 тыс. т. В расчете на гектар среднегодовое внесение калия не превысило 30 кг/га при выносе 49 кг/га. Дефицит составил 38%, или 19 кг/га. Таким образом, под влиянием практикуемых норм внесения калийных

удобрений сложился отрицательный баланс калия в системе почва — растение — удобрение.

В значительной мере это обусловлено недооценкой значения применения калийных удобрений, в прямой зависимости от которых находится накопление в почве доступных для растений форм калия. В стационарном опыте НПО «Нива Ставрополя» было показано, что при систематическом одностороннем внесении фосфорных удобрений содержание обменного калия в почве за 6 лет снизилось на 10%. Отрицательное действие азотных удобрений на этот показатель проявилось еще сильнее, а там, где ежегодно вносили калийные удобрения, содержание его обменных форм в пахотном слое возросло на 10—20%.

По мере интенсификации технологий возделывания культур и роста урожайности потребность в калийных удобрениях возрастает.

В среднем при урожае озимой пшеницы в 50 ц/га из почвы выносятся до 130 кг/га калия. Почвенные запасы не всегда могут обеспечить такой уровень калийного питания, особенно в засушливых условиях региона. Поэтому вносимое количество калийных удобрений должно обеспечить требуемую компенсацию выноса и сбалансированность с другими макро- и микроэлементами. Это обусловлено и тем, что при значительном накоплении фосфатов в почве возникает опасность нарушения физиологически необходимого растениям соотношения питательных веществ. В таких условиях озимая пшеница, например, начинает испытывать потребность в калийных удобрениях. То есть, недостаточность калийного питания будет обусловлена несбалансированностью вносимых с удобрениями питательных веществ. Кроме того, содержание обменного калия в почве не характеризует в нужной степени доступность его растениям, которая в присутствии конкурирующих ионов кальция и магния значительно понижена.

Эффективность калийных удобрений зависит от обеспеченности почв обменным калием и другими элементами питания. Опыты НПО «Нива Ставрополя» показали, что применение одних калийных удобрений, как правило, не дает ожидаемого эффекта. Оно оправдано только на фоне фосфорных и азотно-фосфорных удобрений, а также на почвах с низким содержанием обменного калия. Так, при низкой

обеспеченности почв обменным калием внесение калийных удобрений в дозе 60 кг/га повышает урожайность зерна озимой пшеницы на 6 ц/га, при средней обеспеченности — на 1—2 ц/га. Установлено, что на фоне фосфора калийные удобрения дают дополнительно 20 ц/га зеленой массы кукурузы и до 50 ц/га сорго, 1,5—2 ц/га семян подсолнечника.

Возделываемые культуры существенно различаются по потребности в калийном питании и способности усваивать его различные формы. Так, озимая пшеница потребляет на 1 т урожая 24 кг калия, а подсолнечник — в 5—8 раз больше. При этом внесение калийных удобрений в составе NPK под озимую пшеницу повышает урожайность, а подсолнечник на внесение калийных удобрений не отзывается, так как способен за счет мощной корневой системы использовать менее доступные формы калия, а также калий глубоких слоев почвы. Как правило, эффективность калийных удобрений возрастает на фоне высоких доз азота и фосфора. Несмотря на сравнительно невысокую эффективность калийных удобрений, их внесение рекомендуется на всех типах черноземов для сохранения высокого калийного потенциала почвы.

Большой интерес для характеристики калийного режима почв представляют данные по динамике его содержания в почве в период вегетации растений и определение зависимости этого показателя от различных факторов, влияние которых в той или иной степени может сказаться на обеспеченности растений этим элементом.

Такие исследования были проведены Агрохимцентром «Ставропольский» в 1993—1995 годах по различным предшественникам под озимой пшеницей. Показано, что динамика содержания обменного калия имеет свои особенности. Как и в случае с другими питательными элементами, запасы обменного калия в пахотном слое и в метровой толще почвы снижались в период от кущения (ранневесеннего отбора проб) до полной спелости пшеницы.

На основе анализа и обобщения большого фактического и аналитического материала нами разработана и прошла широкую апробацию в производстве методика для расчета норм удобрения под планируемый урожай основных сельскохозяйственных культур, где используются коэффициенты использования питательных веществ от

выноса при определенных уровнях содержания фосфора и калия в почве.

4.11. Прогнозирование реакции почвенного раствора

Лимитирующий фактор роста урожайности во многих регионах страны — рН почвенной суспензии. Отставание темпов химической мелиорации от применения минеральных удобрений снижает эффективность последних, особенно фосфорных. Поэтому устранение повышенной щелочности (или кислотности) почвы должно опережать улучшение ее агрохимических показателей по фосфору и калию. В крае на долю солонцовых почв, нуждающихся в химической мелиорации, приходится 247,8 тыс. га, собственно солонцов 258 тыс. га, комплексов с содержанием солонцов от 10 до 30% — 297 тыс. га, комплексов с содержанием солонцов от 30 до 50% — 132 тыс. га и различной степени солонцеватых почв — 850 тыс. га.

Основными компонентами почвенного поглощающего комплекса всех типов почв являются кальций и магний. Реакция почвенной среды слабощелочная (рН 7,5-8,5), за исключением засоленных почв, благоприятна для произрастания большинства сельскохозяйственных культур.

Большим резервом увеличения производства зерна и кормов на Ставрополье является химическая и агробиологическая мелиорация солонцов и солонцеватых почв, занимающих 21% территории. В крае было проведено почвенно-мелиоративное районирование для определения закономерностей распространения солонцовых почв на основе применения типологической группировки или объединения контуров и массивов солонцовых почв, близких по своим особенностям и структуре комплексов. За основной критерий сходства и различия при почвенно-мелиоративном районировании условно приняты для черноземных солонцов химические и физико-химические свойства, почвообразующие породы и рельеф, для солонцов зоны каштановых почв — свойства солонцов, состав комплексов, микрорельеф и естественная растительность.

Солонцовые почвы черноземной зоны распространены в Андроповском и Шпаковском районах и различаются по морфологическим и химико-физическим признакам.

В черноземной зоне края солонцеватые слитые черноземы и солонцы расположены на засоленных майкопских глинах. Эти почвы отличаются тяжелым гранулометрическим составом, низкой водопроницаемостью, насыщенностью ППК натрием (от 3 до 15% от емкости поглощения), уплотненностью почвенного профиля.

Низкая водопроницаемость затрудняет усвоение питательных веществ растениями, способствует переувлажнению верхних горизонтов и развитию анаэробных процессов.

Наряду с отрицательными химическими и водно-физическими свойствами, черноземы слитые солонцеватые имеют довольно высокое потенциальное плодородие. Содержат в пахотном слое до 5% гумуса, 15—30 мг/кг почвы подвижного фосфора, более 250 мг/кг почвы обменного калия.

В зоне каштановых почв солонцы, солонцеватые и солончаковые почвы и их комплексы сосредоточены в северо-восточной части края, и вся территория распространения засоленных почв по географическому признаку может быть отнесена к Приманычскому массиву. По структуре солонцовых комплексов, степени участия в них солонцов и солончаков с различными химическими и химико-физическими свойствами, уровню и качеству засоления почв этот массив делится на два самостоятельных почвенно-мелиоративных района: Калаусский и Кумский.

Основным приемом улучшения солонцовых почв черноземной зоны является химический — внесение фосфогипса, известняковой крошки. Их мелиорирующее действие очень эффективно и уже в первый год дает положительные результаты. Средняя многолетняя прибавка урожая зерна от химической мелиорации равна 5 ц/га, а в благоприятные годы и выше.

На солонцах в зоне каштановых почв эффективен агробиологический метод, в основе которого лежит глубокая мелиоративная вспашка плантажными или 3-х-ярусными плугами. Сущность этого метода состоит в том, что глубокой обработкой в пахотный слой вовлекаются соли самой почвы, и в дальнейшем они играют положительную мелиоративную роль, замещая поглощенный натрий на кальций почвенного раствора и изменяя в положительную сторону химические свойства почв. Глубокая мелиоративная обработка рыхлит

плотный солонцовый горизонт, улучшает водопроницаемость почв, что способствует вымыванию водо-растворимых солей в нижние горизонты почвенного профиля. Средняя многолетняя прибавка урожая от применения этого метода равна 9 ц/га кормовых единиц, а при внесении под основную вспашку 40 т/га навоза прибавка урожая возрастает до 12 ц/га кормовых единиц. Период последствий этого приема продолжается 15 лет. Методы улучшения солонцов и солонцеватых почв, кроме улучшения химических и водно-физических свойств, дают возможность использовать на этих почвах энергосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Изменение плотности солонцовых почв в результате мелиорации с 1,55-1,60 до 1,10-1,20 г/см³ не требует при обработке этих почв дополнительных затрат энергии и горючего, которые были необходимы ранее при обработке солонцовых почв.

Успех мелиорации зависит от правильного выбора соответствующего метода и его использования. Набор методов должен основываться на принципах, позволяющих выбрать и найти именно те мероприятия, которые будут наиболее эффективны в конкретном случае. Е. И. Годуновой и Л. Н. Петровым (1989) в стационарных исследованиях было изучено 64 варианта с набором разноглубинных вспашек, различных мелиорантов, удобрений в чистом виде и в разнообразных сочетаниях для определения наиболее оптимальных приемов мелиорации почв черноземной зоны Ставрополья. Анализ полученных данных показал, что самым результативным приемом, обеспечивающим наибольшую прибавку урожая (от 34,9 до 53,2 корм. ед. с 1 га), является комплексный, включающий в себя внесение 15 т/га фосфогипса совместно с 60 т/га навоза на фоне рыхления (стойки СибИМЭ, РСН-2,9). Наивысший условно чистый доход получен от внесения фосфогипса с применением рыхления (стойки СибИМЭ, РСН-2,9).

ГЛАВА V. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАПЛАНИРОВАННОЙ УРОЖАЙНОСТИ

5.1. Оптимизация процессов фотосинтеза

Урожай любой сельскохозяйственной культуры формируется в процессе фотосинтеза. Для получения высоких урожаев необходимо создать посеvy оптимальной структуры, наиболее полно поглощающие и использующие солнечную радиацию. Основными органами поглощения солнечной энергии являются листья. Поэтому необходимо создавать посеvy с оптимальной площадью листьев. Как при недостаточной, так и при излишне развитой площади листьев наблюдается снижение использования солнечной энергии.

Это дало основание сделать вывод, что оптимальной структурой обладают те посеvy, в которых площадь листьев быстро возрастает до 40 тыс. м²/га и по возможности долго сохраняется на этом уровне в активном состоянии; в конце вегетации значительно уменьшается или полностью отмирает, отдавая накопленные пластические вещества репродуктивным органам, т.е. хозяйственно ценной части урожая.

Многими исследованиями показано, что урожай биомассы находится в прямой зависимости от площади листьев. Но иметь значительные размеры площади листьев еще недостаточно, нужно, чтобы листовая поверхность формировалась быстро и возможно долго активно функционировала, т.е. фотосинтетический потенциал должен быть высоким.

Фотосинтетический потенциал (ФП) характеризует возможность использования для фотосинтеза солнечной радиации посевами сельскохозяйственных культур в течении вегетации и выражается интегральной площадью листовой поверхности растений (м²/га) в продолжение периода активной работы листьев. Он объединяет два показателя: площадь листьев и время их работы. Рассчитывают фотосинтетический потенциал по формуле:

$$\text{ФП} = \left(\frac{Л_1 + Л_2}{2} \right) T + \left(\frac{Л_1 + Л_2}{2} \right) T + \text{итд.}$$

где ФП – фотосинтетический потенциал, тыс. м²/га, дн.; Л₁, Л₂, Л₃ – площадь листьев в начале и конце периода, тыс. м²/га; Т – продолжительность периода, дн.

Фотосинтетический потенциал является обобщающим показателем, характеризующим эффективность действия всех приемов технологии возделывания сельскохозяйственной культуры. ФП может быть различным у культур и сортов разной скороспелости. Чтобы перейти к определению возможного урожая при определенном ФП, необходимо знать чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). ЧПФ – количество абсолютно сухого вещества, синтезируемого 1 м² листовой поверхности за сутки.

Чистую продуктивность фотосинтеза определяют по формуле:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{L_1 + L_2}{2}},$$

где, ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза, г/м² · сут.; B₁, B₂ – абсолютно сухая масса урожая в конце и начале периода определения.

Площадь листовой поверхности и ФП зависят от числа растений и размеров площади листьев каждого из них, поэтому суммарная площадь листьев определяется густотой стояния растений и степенью их развития. Запланированных урожаев сельскохозяйственных культур можно достичь лишь при формировании оптимальной площади листьев, максимальном и эффективном использовании растениями солнечной радиации. Для увеличения урожайности растений необходимо повышать их фотосинтетическую активность и коэффициент использования продуктов фотосинтеза для создания хозяйственно ценной части урожая.

5.2. Структура посевов планируемой урожайности

Биологической моделью будущего урожая любой сельскохозяйственной культуры является структурная формула. Структура урожая показывает, из каких элементов он складывается, при какой доле их участия формируется высокий урожай.

Для планирования заданной урожайности необходимо определить оптимальные показатели основных элементов структуры урожая, формирование которых должно быть обеспечено комплексом агротехнических мероприятий. Элементы структуры урожая зерновых культур (и их производные) по характеру воздействия на формирование урожая условно сгруппированы в шесть групп.

1. Основные элементы, из которых складывается любой урожай: число растений на единице площади при уборке урожая; продуктивная кустистость; число колосков в колосе; число зерен в колоске и колосе (метелке); масса 1000 зерен при стандартной влажности. Эти элементы непосредственно влияют на биологическую урожайность, которую можно определить по формуле:

$$Y = \frac{PKPA}{100000},$$

где, Y – биологическая урожайность зерна, т/га; P – количество растений на 1 м² при уборке урожая; K – коэффициент продуктивной кустистости; Π – число зерен в колосе (произведение числа колосков в колосе на число зерен в колоске); A – масса 1000 зерен, г; 100000 – для перевода урожая в т/га.

2. Элементы, формирующие число растений на единице площади при уборке урожая: норма высева; полевая всхожесть семян; число перезимовавших растений (для озимых культур); число сохранившихся растений к уборке; общая выживаемость растений.

Полевая всхожесть – число растений в фазе полных всходов, выраженное в процентах к количеству высеянных всхожих семян.

Сохранимость растений – число растений к уборке, выраженное в процентах от числа полных всходов на единице площади.

Выживаемость растений – число растений, сохранившихся к уборке урожая, выраженное в процентах к числу высеянных всхожих семян.

3. Элементы, определяющие продуктивный стеблестой на единице площади при уборке урожая: число растений на разных этапах их роста и развития и при уборке урожая; общая кустистость; продуктивная

кустистость; выживаемость продуктивных стеблей; густота продуктивного стеблестоя.

4. Элементы продуктивности колоса (метелки): число колосков в колосе (развитых и недоразвитых); число зерен в колоске; масса зерна в колосе (метелке).

5. Элементы и их производные, необходимые для определения биологического урожая зерна: число колосьев (метелок) на единице площади при уборке урожая; масса зерна в колосе (метелке).

Биологическую урожайность можно определить по формуле:

$$Y = \frac{CB}{100},$$

где Y – биологическая урожайность зерна, т/га; C – число продуктивных (колосоносных) стеблей на 1 м_2 при уборке урожая; B – масса зерна в колосе, г; 100 – для перевода урожая в т/га.

6. Элементы и их производные, определяющие выход зерна: фактическая урожайность, т/га; урожайность соломы, т/га; процент выхода зерна в общей массе урожая; потери зерна при уборке урожая (разница между биологическим и фактическим урожаем).

ГЛАВА VI. АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ УРОЖАЕВ

6.1. Агротехнические условия получения планируемой урожайности

Агротехническое обоснование уровня урожайности для каждого поля севооборота является первой частью программы по созданию посевов высокой продуктивности, имеющих оптимальное сочетание всех факторов жизнедеятельности растений. Программирование урожая требует своевременного выполнения всего комплекса работ согласно технологической карте от подготовки почвы и семян до уборки урожая.

Обработка почвы должна обеспечить улучшение ее агрофизических свойств, накопление влаги и действенную борьбу с сорняками, болезнями и вредителями. Предпосевное выравнивание и прикатывание полей способствует равномерности заделки семян и сокращает испарение воды.

Определение оптимальных сроков и способов внесения удобрений (органических, минеральных и извести) имеет особое значение при программном выращивании урожая. Внесение удобрений требует соблюдения следующих правил: оптимальная глубина заделки, оптимальное пространственное размещение относительно корневой системы и равномерное распределение по полю. Локальное (внутрипочвенное) внесение удобрений имеет преимущество перед другими способами. В этом случае ленточным способом лучше вносить требуемые нормы азота, фосфора и калия одновременно. Например, ленточное внесение основного минерального удобрения под картофель проводится одновременно с посадкой и удобрения располагаются одной лентой на 3-5 см ниже клубня или на той же глубине двумя лентами по сторонам от рядка клубней на расстоянии около 5 см от центра.

Сроки сева - также важный элемент технологии программирования урожая. Здесь имеет значение время начала посева к его продолжительности. Технологическая карта должна содержать все, включая и общеизвестные, но не всегда используемые агроприемы.

Технология программированного выращивания урожая полевых культур по обобщенным почвенно-климатическим показателям предусматривает

1. Определение продуктивности и уровня возможного урожая по

лимитирующему фактору с учетом окультуренности и плодородия конкретного поля.

2. Расчет нормы внесения органических и минеральных удобрений с учетом выноса питательных веществ урожаем, использования их из почвы и удобрений, а также расширенного воспроизводства плодородия почвы.

3. Составление технологической карты, включающей обязательные агротехнические приемы, способы и сроки их выполнения, а также затраты труда и средств и себестоимость продукции.

4. Оперативную корректировку технологии или приемов управления формированием урожая с учетом реально складывающихся и прогнозируемых погодных условий для поддержания в оптимальном режиме основных факторов, определяющих продуктивность посева.

5. Систематическую регистрацию условий выращивания урожая и изменений свойств почвы для последующего уточнения расчетов и совершенствования теории и методов получения высоких урожаев с одновременным улучшением плодородия почвы и охраны окружающей среды.

Метод программирования урожая требует высокой культуры земледелия и строгой производственной дисциплины, как и любая другая технология, основанная на точном расчете.

В настоящее время накоплен обширный экспериментальный материал, характеризующий ход поступления питательных веществ у различных видов растений. Известно и количество питательных веществ, необходимое на единицу хозяйственной части урожая. Например, в условиях Подмосковья доступные для растений формы фосфора используются примерно на 5-7%, калия — на 100-12%, легкогидролизуемого азота - на 20% от их количества в почве. Учитывая эти данные, легко рассчитать количество удобрений для запланированного урожая.

Ведущая роль в управлении процессом формирования урожая принадлежит водообеспечению (орошению) и удобрению полевых культур. Коэффициент водопотребления (расход продуктивной влаги в м³/ц продукции) - величина непостоянная: он увеличивается или уменьшается в зависимости от всего комплекса агротехники.

Для получения запланированного урожая сельскохозяйственных

культур важно иметь сорта, которые способны создать то количество органической массы, которое рассчитано по влагообеспеченности и питанию растений. Вопросы уплотнения каждого гектара пашни во времени (выращивание двух-трех урожаев в год на единице площади) и в пространстве (совместные посевы культур с разным уровнем расположения листьев) имеют важное агротехническое значение. Самые совершенные модели программируемых урожаев сельскохозяйственных культур имеют практическое значение в том случае, если весь процесс формирования урожая будет реально управляем.

6.2. Технологические основы программирования урожаев

Технологические основы программирования урожаев требуют четкого осуществления в заданной последовательности специально разработанного комплекса технологических операций, необходимых для достижения на каждом этапе формирования урожая заранее рассчитанных количественных и качественных показателей роста, развития и продуктивности растений в агрофитоценозе. Технология получения программируемых урожаев основана на точном расчете и требует строгой производственной дисциплины при выполнении всех без исключения операций. Только в этом случае удастся осуществлять эффективное управление формированием заданного урожая сельскохозяйственных культур в соответствии с составленной программой.

В программированной технологии все основные приемы направлены прежде всего на решение главной задачи - использование заданного по программе количества ФАР на формирование урожая.

Исследования по разработке технологии программированного возделывания культуры начинаются с определения ее потенциальной продуктивности в конкретных экологических условиях. При этом ставится задача наиболее полного использования генетического потенциала сорта или гибрида.

Программированное возделывание сельскохозяйственных культур требует четкого осуществления в заданной последовательности специально разработанного комплекса технологических операций, необходимых для достижения на каждом этапе формирования урожая заранее рассчитанных количественных и качественных *показателей* роста, развития и продуктивности растений. Следовательно, речь идет о

принципиально новой технологии выращивания урожая, при которой определяющее значение наряду с общей оптимизацией основных регулирующих факторов жизни растений приобретает фактор времени — точное соблюдение временных параметров проведения технологических операций: сроков посева, поливов, внесения удобрений, обработки почвы, уборки и других приемов.

В связи с тем, что технология программированного выращивания урожая, обеспечивающая резкое повышение урожайности, требует некоторых дополнительных материально-технических затрат и привлечения дополнительных трудовых ресурсов, возможности широкого внедрения нового метода в хозяйствах могут различаться и определяться уровнем материально-технической базы хозяйства. Следовательно, на данном этапе развития земледелия (богарного и орошаемого) целесообразно вести по каждой культуре разработку нескольких типовых технологий, рассчитанных на получение разных уровней урожайности (от средней до максимальной экономически оправданной). Наличие таких технологий позволит внедрить программированное выращивание урожая практически в любом хозяйстве и существенно увеличить валовые сборы зерна и кормов.

Важным этапом программирования является составление обоснованной технологической карты получения запрограммированного урожая. Технологическая карта - это технический проект урожая. В нем закладываются детальный план мероприятий, отражающий последовательность, сроки, количество и качество всех работ от подготовки семян к посеву до завершения уборки.

В технологической карте должны быть учтены общеизвестные, но не всегда используемые агроприемы:

- выбор наилучшего варианта размещения культуры в полях севооборота с учетом предшественника и состояния окультуренности контура;
- подбор высокоурожайного для данного хозяйства, устойчивого к полеганию и заболеваниям сорта;
- посев высококачественными семенами;
- предпосевная калибровка семян (клубней) с использованием на посев семян средней фракции, предпосевное прогревание семян;
- предпосевное протравливание семян всех культур;
- определение оптимальной нормы посева семян данной партии

для программируемого урожая с учетом показателя массы 1000 семян и посевной годности;

- обеспечение более равномерного распределения семян по поверхности почвы за счет перекрестного или узкорядного посева зерновых,, широкорядного посева многолетних трав на семена;

- борьба за сохранение и оптимальное использование почвенной влаги в весенний период;

- равномерное внесение органических и минеральных удобрений;

- шлейфование (выравнивание) поверхности почвы, совмещенное с предпосевной культивацией;

- предпосевное (в рядки) внесение сложных гранулированных удобрений;

- прикатывание посевов зерновых, многолетних трав, силосных культур;

- боронование посевов озимых и яровых при уплотнении почвы и образовании корки;

- использование гербицидов для подавления сорняков на посевах зерновых и многолетних трав в период кущения, на участках картофеля за 7—10 дней до всходов;

- использование ретардантов в целях предупреждения полегания зерновых, применение некорневых подкормок.

В практической работе по программированному возделыванию сельскохозяйственных культур возможны некоторые отклонения от указанной технологической карты, связанные с погодными условиями, ресурсами рабочей силы, техники и т. п. В этих условиях опыт и квалификация специалистов и механизаторов при творческом выполнении запланированных мероприятий являются важнейшими факторами обеспечения урожая.

При планировании урожая сельскохозяйственных культур и связанных с этим технологических и других операций важно знать сроки их проведения и условия, которые могут сложиться к этому моменту. С целью правильной регламентации всех работ рекомендуется использовать сетевые графики, описывающие последовательность событий и операций при возделывании любой культуры. Это позволяет правильно выбрать тип рабочего органа, ориентировочно назначить сроки готовности техники к выполнению запланированных работ.

Вся система агротехнических приемов при программировании урожая должна способствовать улучшению физических свойств почвы, регулированию теплового и водно-воздушного режимов, созданию наилучших условий для роста и развития растений.

Крайне необходима система учета и контроля за выполнением запланированных в технологической карте мероприятий по каждому полю с фиксацией в контрольном журнале отклонений по срокам, приемам и техническому обеспечению. Элементы программирования урожая в настоящее время являются необходимой частью интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

6.3. Организационно-технические мероприятия, способствующие получению программируемой урожайности

В получении программируемых урожая сельскохозяйственных культур большое значение имеет проведение организационно-технических мероприятий. Для этого в хозяйстве должны быть организованы специализированные бригады (звенья). За бригадой постоянно закрепляют определенную площадь пашни, культуры, необходимую технику с учетом требований индустриальной технологии возделывания. Бригаде своевременно и в необходимом количестве выделяют семена, удобрения, пестициды и ретарданты.

Для более равномерного использования рабочей силы и техники за бригадой может быть закреплено несколько культур: озимые и яровые зерновые, картофель или корнеплоды, многолетние травы, которые значительно отличаются по срокам созревания. Это дает возможность снизить напряженность во время уборки.

На основании точных расчетов бригаде дается задание по получению программируемой урожайности сельскохозяйственных культур, выдаются технологические карты получения программируемых урожая, календарные планы работы, графики хода формирования урожая и другие планы, связанные с получением программируемой урожайности.

Эффективность программирования урожайности сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от уровня организации труда, знаний членов бригады, оплаты труда, материального и морального стимулирования членов бригады в

увеличении производства, улучшении качества продукции и снижении себестоимости.

Бригада заключает трудовое соглашение с администрацией хозяйства по получению планируемой урожайности и оплате труда.

Для более качественного выполнения работы из числа бригады могут быть созданы специализированные звенья (группы) по обработке почвы, внесению удобрений, уходу за посевами, защите растений, уборке урожая. Правильная организация производства способствует ликвидации обезлички, повышению ответственности членов бригады за использование земли, техники и других материальных ценностей, обеспечивает повышение заинтересованности членов бригады в конечных результатах производства.

Каждый член бригады должен точно знать агротехнические требования и качественные показатели выполняемой работы и четко представлять, что от него требуется и что он должен делать не только на следующий день или в определенный период вегетации, а и в году. Для этого с членами бригады проводят занятия по вопросам технологии возделывания культур, применению удобрений, гербицидов, пестицидов и охраны окружающей среды.

Бригада должна продолжительное время работать без существенного Переформирования, тогда она более успешно справится со своими задачами по получению программируемых урожаев.

В течение всего вегетационного периода нужно проводить постоянный контроль за выполнением комплексных планов программирования и ходом формирования урожая, в случае расхождения с ранее намеченной программой вносить некоторую поправку (коррекцию) условий выращивания. Коррекционные или технологические поправки к программе могут быть вызваны изменением погодных условий или допущенными неточностями при составлении программы. Такой контроль за ходом формирования урожаев сельскохозяйственных культур позволяет значительно усовершенствовать технологию возделывания сельскохозяйственных культур и на этой основе добиться высоких урожаев и значительно повысить эффективность материальных затрат.

ГЛАВА VII. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НОРМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ЗАПЛАНИРОВАННУЮ УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Оптимизация минерального питания растений имеет большую значимость как в экономическом и экологическом аспектах. Определение оптимальных доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры является ключевой, наиболее сложной задачей агрохимии. Поскольку, определить реально необходимое количество элементов питания для получения планируемой определенной урожайности отдельных культур в севообороте или монокультуре практически невозможно в принципе из-за совокупного влияния широкого спектра варьирующих слабо прогнозируемых факторов. При определении (расчете) доз удобрений следует иметь в виду, что речь идет лишь о первом приближении к оптимальной дозе и оптимальному соотношению элементов питания.

Доза (от греч. *dosis*) удобрения представляет собой количество элемента питания или вещества его содержащего для внесения на определенной площади или определенную массу почвы (субстрата). В России дозы минеральных удобрений принято выражать в кг/га, органические и мелиоративные удобрения в т/га. Дозы микроэлементов выражают также в г/га, г/т семян или г на гектарную норму посевного материала. Дозы элементов питания (несмотря на то, что в такой форме их в почве нет, и растения не потребляют) традиционно принято рассчитывать на элементы или оксиды: N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mo, Zn, Mn.

При благоприятных экономических условиях ведения хозяйства, дозы органических и минеральных удобрений должны обеспечивать получение планируемых урожаев хорошего качества при одновременном повышении или сохранении достигнутого уровня плодородия почвы. В то же время в большинстве хозяйств не в состоянии соблюдать эти требования.

Дозы удобрений и мелиорантов устанавливают экспериментально в полевых опытах или расчетными методами с последующей их проверкой в полевых условиях. Дозы микроэлементов определяют в основном по результатам полевых исследований.

При определении доз минеральных удобрений учитывают планируемую урожайность и качество продукции, содержание доступных для растений элементов питания в почве, реакцию почвенной среды, климатические условия, биологические особенности сельскохозяйственных культур, последствие удобрений, рельеф полей и гранулометрический состав почвы.

Для определения доз минеральных удобрений в РФ используются экспериментальные и расчетные методы:

- по результатам полевых опытов с применением поправочных коэффициентов на различие агрохимических свойств почвы в опытных учреждениях и условиях хозяйства;

- нормативные - по нормативам затрат элементов питания на получение единицы урожая или на прибавку урожая;

- балансовые - на основе сопоставления приходных статей баланса, главной из которых является количество элементов питания вносимых в почву с удобрениями и расходных статей, где преобладает вынос элементов питания урожаем. В агрохимической практике используются различные модификации балансовых методов довольно широкое распространение получили: расчет доз удобрений на планируемый урожай методом элементного баланса; на планируемую прибавку урожая, а также упрощенные методы с использованием коэффициентов возмещения выноса элементов питания урожаем, балансовых и других коэффициентов возмещения.

К балансовым относятся также математические методы расчета, в которых для установления доз удобрений учитывается широкий спектр агрохимических, почвенно-климатических, экономических и экологических факторов.

Дозы азотных, фосфорных, калийных удобрений и мелиорантов определяют экспериментально на основании полевых опытов или расчетными методами; дозы микроэлементов и органических удобрений в основном по результатам полевых исследований.

Эффективность применения удобрений оценивают окупаемостью единицы (кг) вносимых удобрений прибавкой урожая, прибавкой урожая с единицы площади (га, м²). Практика показывает, что наибольшая окупаемость прибавкой урожая единицы вносимых удобрений наблюдается при применении невысоких доз. Однако

поскольку прибавка урожая единицы площади при внесении малых доз удобрений невелика затраты на их внесение могут не окупаться.

При увеличении доз удобрений прибавка урожая до определенного уровня возрастает, однако окупаемость вносимых удобрений урожаем постепенно снижается. При дальнейшем увеличении доз удобрений прибавки урожая не окупают затраты на их применение. Опыт показывает, что более выгодно применять меньшие дозы удобрений на большей площади и получать при этом больший валовой урожай, нежели использовать высокие дозы удобрений на меньшей площади.

Как отмечалось, для определения доз удобрений используются различные методы. При определении доз минеральных удобрений учитывают планируемую урожайность и качество продукции, содержание доступных для растений элементов питания, реакцию почвенной среды, климатические условия, биологические особенности сельскохозяйственных культур, рельеф полей и гранулометрический состав почвы.

Дозы азотных удобрений по озимые и яровые культуры в значительной мере зависят от погодных условий в осенний и зимний периоды. После холодной зимы дозы азота, как правило, уменьшают, так как из замершей почвы потери азота в результате вымывания не происходят. После теплых снежных зим дозы азота повышают, поскольку в этих условиях значительная часть нитратного азота почвы теряется. На легких почвах и при промывном водном режиме почв для предотвращения потерь азота его вносят дробно с учетом растительной диагностики.

Наиболее часто применяют азотные подкормки сельскохозяйственных культур.

В агрохимическом аспекте, чем ближе сроки внесения удобрений к периоду наиболее интенсивного потребления элементов питания растениями, тем выше их доступность растениям и эффективность применения вследствие уменьшения потерь элементов питания, химической и биологической иммобилизации.

Однако, поскольку другие элементы, кроме азота нитратов, связываются в почве в зоне их внесения химически или обменно, то подкормки растений фосфорными и калийными удобрениями

практически не проводят. Азотные удобрения очень лабильны. Аммонийный азот не перемещается по профилю почвы вследствие адсорбции его ППК почвы лишь не продолжительное время, а после нитрификации в форме нитратов значительная часть азота почвы вымывается в осенний и весенний периоды. Отсюда следует, что в зонах достаточного и избыточного увлажнения под яровые культуры азотные удобрения нельзя вносить осенью, поскольку значительная его часть будет потеряна за осенний и ранневесенний периоды. Под озимые культуры перед посевом вносят небольшие дозы азота, поскольку внесение его в дозах, превышающих потребность растений за осенний период, оказывает негативное влияние на их перезимовку, приводит к вымерзанию и выпреванию озимых.

В связи с этим под озимые культуры с осени вносят не более 40 кг/га азота удобрений, оставшуюся его часть вносят весной в подкормки. Многочисленными опытами установлено, что в зоне достаточного и избыточного увлажнения (Нечерноземной зоне) ранневесенние подкормки озимых зерновых культур в период возобновления вегетации и начале активного роста растений значительно повышает их эффективность по сравнению с осенним сроком внесения. Коэффициенты использования азота удобрений, внесенных в весеннюю подкормку в 1,5-3 раза выше, нежели при внесении удобрений осенью.

Необходимость проведения и дозы азотных подкормок в весенний период устанавливают по состоянию озимых после перезимовки и результатам почвенной диагностики, а для второй и третьей азотной подкормки, соответственно, в фазу выхода в трубку и колошения-цветения – по результатам растительной диагностики питания.

Для установления необходимости проведения поздних некорневых азотных подкормок в целях повышения содержания белка в зерне пшеницы проводят листовую диагностику в период колошения-молочной спелости на содержание в них общего азота.

Использование, рекомендуемых ранее 3-5% раствора мочевины экономически не оправдано, поскольку с одной стороны, требуется большое количество раствора, с другой стороны, капли раствора мочевины на листьях растений в летний период быстро испаряют воду и через 15-20 минут находятся в стадии насыщенного раствора. Для

некорневых подкормок рекомендуется использовать 30-35% раствор мочевины. Наблюдаемые ожоги листьев растений связаны в большей степени с качеством распыла раствора мочевины, а не с концентрацией раствора.

Необходимость проведения поздних азотных подкормок зерновых культур для повышения качества зерна устанавливают на основании рекомендаций разработанных зональными научными учреждениями и агрохимической службой для конкретных почвенно-климатических условий.

Наибольшее количество нитратов накапливается в пару, где водный режим почвы способствует нитрификации и отсутствуют растения потребляющие азот. Хорошая обеспеченность влагой и периодические механические обработки почвы пара (парующей) в течение вегетационного периода создают благоприятные условия для минерализации азотсодержащих органических веществ.

За летний период в корнеобитаемом слое при паровании на темно-каштановых почвах накапливается до 100-140, а на чернозёмах и тёмно-серых лесных почвах -160-200 кг/га нитратного азота. Такого количества минерального азота вполне достаточно для формирования урожая зерновых до 30-40 ц/га.

При возделывании по пару озимых и яровых зерновых сельскохозяйственных культур, как правило, не возникает необходимости в применении азотных удобрений. На слабогумусированных почвах роль пара в обеспечении растений азотом заметно снижается. Хотя содержание минерального азота на этих почвах в пару всегда выше, чем в других полях севооборота, однако его недостаточно, поэтому на этих почвах под сельскохозяйственные культуры, высеваемые по пару, для получения высоких урожаев обычно применяют органические или минеральные азотные удобрения.

Значительное влияние на минерализацию органического вещества накопление нитратного азота в почве оказывает ее обработка (рыхление). Чем большее количество обработок проводится, тем интенсивнее проходит минерализация органического вещества и больше образуется минерального азота. Установлено, что под культурами сплошного сева в течение вегетационного периода ежегодно минерализуется в среднем около 1% органического вещества

почвы, под пропашными культурами - 2% и в пару около 3%. На черноземных почвах степень минерализации гумуса почвы примерно в 2 раза ниже, однако в силу высокой гумусированности, образуется в 2-3 раза больше нитратов, нежели на дерново-подзолистых.

Под пропашными культурами в результате воздействия междурядных обработок процессы минерализации азота проходят в 1,5-2 раза интенсивнее, чем под культурами сплошного сева, что приводит к лучшему обеспечению растений минеральным азотом.

Ранняя вспашка зяби после уборки зернобобовых и многолетних бобовых трав способствует более интенсивной минерализации азотсодержащих пожнивно-корневых остатков и позволяет запасти достаточное количество минерального азота для обеспечения потребности в нем последующей культуры севооборота.

Органические удобрения, с низким содержанием легко минерализуемого азота - торф, сапрпель и широким соотношением C:N - солома, компосты и свежий подстилочный навоз, обычно вносят в паровом поле, чтобы амнификация прошла более полно. Важно отметить, что внесение азотных удобрений усиливает минерализацию почвенных азотсодержащих веществ, что способствует дополнительной мобилизации и усвоению азота почвы растениями.

Размер потребления сельскохозяйственными растениями азота почвы находится в прямой зависимости от содержания органического вещества, предшественника, климатических и агротехнических условий и интенсивности междурядных обработок пропашных культур.

Довольно надежное представление об уровне обеспеченности возделываемых культур азотом почвы можно иметь на основании сопоставления урожайности на отдельных полях в предшествующие годы (за 3-5 лет) при соблюдении агротехнических приемов.

Поскольку обеспеченность растений азотом почвы обуславливается в основном содержанием в ней органического вещества, агротехникой, климатическими и погодными условиями, то, несмотря на варьирование по годам, пределы содержания в почве доступного растениям минерального азота после разных предшественников севооборота довольно устойчивые. Следовательно, на основании уровня продуктивности сельскохозяйственных культур в

предшествующие годы можно судить о потреблении азота почвы последующими культурами.

Наиболее высокая обеспеченность растений минеральным азотом характерна для типичных и выщелоченных чернозёмов, тёмно-серых лесных и лугово-чернозёмных почв. Однако после уборки зерновых, злаковых многолетних трав, поздно убираемых культур (подсолнечника, кукурузы на зерно и др.), содержание минерального азота в почве, как правило, низкое не обеспечивает потребности растений и применение азотных удобрений обеспечивает высокие прибавки урожая.

На серых лесных, каштановых и других слабогумусированных почвах, хорошая обеспеченность растений азотом возможна только в паровом поле при внесении органических удобрений. При паровании без внесения органических удобрений в корнеобитаемом слое этих почв накапливается среднее количество (60-80 кг/га) минерального азота, а после других предшественников наблюдается низкая обеспеченность почв азотом.

На светло-каштановых почвах, отличающихся низким содержанием гумуса практически по всем предшественникам за исключением пара, где не внесены органические удобрения, ежегодно складывается неблагоприятный азотный режим.

Следовательно, преобладающая часть пахотных каштановых почв характеризуется низкой обеспеченностью минеральным азотом.

Наиболее достоверным методом прогнозирования уровня обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом и установления их нуждаемости в азотных удобрениях является определение содержания суммы минерального азота в почве. Для этого перед посевом проводят агрохимическое обследование на содержание в почве аммонийного и нитратного ($N-NH_4$ и $N-NO_3$) или только нитратного азота. Агрохимической службой различных регионов страны с непромывным водным режимом ежегодно проводится обследование значительной части пашни на содержание нитратов. Глубина отбора почвенных образцов при почвенной диагностики зависит от зональных особенностей почвенного покрова и гидротермического режима территории.

Хозяйствам дается информация об обеспеченности отдельных полей минеральным азотом или нитратами и рекомендации по рациональному применению азотных удобрений под возделываемые культуры, которые могут испытывать недостаток обеспеченности почвенным азотом в течение вегетации.

В условиях Нечерноземья, ЦЧО и Северного Кавказа более достоверные результаты даёт сумма подвижного минерального азота ($N-NO_3 + N-NH_4$). В этих районах глубина взятия почвенных образцов обычно составляет 0-60 см (табл. 3).

Таблица 3. – Обеспеченность растений минеральным азотом почвы (мг/кг) и потребность полевых культур в азотных удобрениях (Гамзиков Г.П., 2000)

Обеспеченность почвы азотом	0-20 см	0-40 см	0-60 см	Потребность в удобрении
N-NO₃				
Очень низкая	<10	<5	<3	Очень высокая
Низкая	10-15	5-10	3-8	Высокая
Средняя	15-20	10-15	8-12	Средняя
Высокая	>20	>15	>12	Отсутствует
N-NO₃ + N-NH₄				
Очень низкая	<15	<7	<5	Очень высокая
Низкая	15-30	7-15	5-10	Высокая
Средняя	30-50	15-25	10-20	Средняя
Высокая	>50	>25	>20	Отсутствует

Определение доз удобрений:

Использование азотных удобрений даёт возможность увеличить урожай полевых культур, улучшить качество растениеводческой продукции, повысить оплату 1 кг азота внесённых туков с 3-5 до 8-10 кг зерна.

Расчет доз азотных удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур проводят по хозяйственному выносу азота, который находят путем умножения затрат элемента на 1 т основной продукции с учетом побочной на урожай т/га:

$DN = B1 \times Y \times K_{пл} \times K_{пр} \times K_{г} - (Дшу \times 0,01N \times 0,01K_{оу}) \div 0,01K_{му}$,
где: DN - доза азота удобрения на планируемую урожайность,
кг/га;

B1 - вынос азота 1 т основной продукции и соответствующим количеством побочной;

Y - планируемая урожайность основной продукции, т/га;

K_{пл} - поправочный коэффициент на плодородие почвы;

K_{пр} - поправочный коэффициент на предшественник;

K_г - поправочный коэффициент на гранулометрического состава почвы;

Доу - доза органических удобрений, т/га;

0,01N - содержание азота в органическом удобрении, %;

0,01K_{оу} - коэффициент использования азота сельскохозяйственными культурами из органического удобрения, %;

K_{му} - коэффициент использования азота из минеральных удобрений, %.

Для расчета доз фосфорных удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур используют те же методические подходы что и при определении доз азота. Однако, поскольку подвижность фосфатов почве и доступность их растениям сильно зависит от фактов внешней среды, то для учета их влияние на уровень обеспеченности растений фосфором дозы удобрений при расчетах корректируют с помощью коэффициентов:

$DP = B1 \times Y \times K_{пл} \times K_{пр} \times K_{г} \times K_{к} - (Доу \times 0,01P \times 0,01K_{оу}) \div 0,01K_{му}$,

где: DP - доза фосфора удобрения на планируемую урожайность,
кг/га;

B1 - вынос фосфора 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции;

Y - планируемая урожайность основной продукции, т/га;

K_г - поправочный коэффициент на гранулометрического состава почвы;

K_{пр} - поправочный коэффициент на предшественник;

K_{пл} - поправочный коэффициент на содержание подвижного фосфора в почве;

K_к - поправочный коэффициент к дозам фосфорных удобрений в зависимости от степени кислотности почв;

Доу - доза органических удобрений, т/га;
0,01Р - содержание фосфора в органическом удобрении, %;
0,01Коу - коэффициент использования фосфора органических удобрений сельскохозяйственными культурами в первый год действия;
0,01Кму - коэффициент использования фосфора сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений, %.

Если органические удобрения вносились под предшествующие культуры, то для расчета берут коэффициенты использования азота в годы последействия. Достоверность расчетов снижается вследствие того, что учитывается содержание элементов питания только в пахотном слое почвы, в то время как в реальных условиях значительная их часть потребляется растениями из подпахотных горизонтов.

Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом свидетельствуют, что высокий уровень содержания фосфора и калия в почве, создаваемый за счет запасного или длительного применения удобрений более важен для формирования высоких урожаев, нежели повышенные дозы удобрений, внесенные на бедных почвах непосредственно под возделываемые культуры. Важно отметить, что, несмотря на более высокие прибавки урожая от фосфорных удобрений на бедных фосфором почвах, урожайность на некультуренных почвах остается довольно низкой.

В странах Западной Европы, где пахотные земли отличаются высокими запасами подвижных фосфатов и обменного калия в почве фосфорные и калийные удобрения вносят обычно в компенсирующих дозах, достаточных для восполнения элементов питания, отчуждаемых с урожаем и поддержания их содержания в почве на оптимальном уровне для формирования требуемой урожайности сельскохозяйственных культур.

Несмотря на важное значение в формировании урожая, содержащихся в почве остаточных фосфатов, наиболее высокие урожаи сельскохозяйственных культур наблюдаются лишь в случае, если растворимые фосфорные удобрения вносятся ежегодно. Это подтверждается высокой эффективностью припосевного (припосадочного) внесения водорастворимых фосфорных удобрений.

Оптимальное содержание в почве элементов питания, обеспечивающее необходимый уровень для растений зависят от

структуры посевных площадей севооборота, биологии сельскохозяйственных культур, планируемой урожайности, климатических и агротехнических условий. Они достигаются внесением удобрений сверх выноса соответствующих питательных элементов урожаем. Прежде всего это относится к фосфатному и калийному уровням. Оптимизация фосфатного уровня питания в почве значительно повышает эффективность азотных и калийных удобрений, соответственно калийных - азотных и фосфорных, азотный - фосфорных и калийных.

При определении норм удобрений необходимо учитывать высоту планируемой урожайности и потребление (вынос) элементов питания растениями, биологические особенности удобряемых культур и их отзывчивость на удобрения, содержание в почве подвижных (усвояемых) питательных веществ, предшествующие культуры, их агротехнику и удобрения, свойства удобрений, обеспеченность растений влагой и т. д.

В практике имеется несколько методов установления норм удобрений, из которых чаще всего применяют прямое использование результатов полевых опытов, нормативные затраты удобрений на единицу планируемых прибавок урожая или всего урожая и балансово-расчетные методы.

7.1. Расчёт по нормативному методу

Метод нормативного баланса предусматривает детальный учет всех статей прихода и расхода питательных веществ: в приходной части - поступление питательных веществ в почву с удобрениями, семенами, из атмосферы, в том числе азот клубеньковых бактерий бобовых культур и свободно действующих бактерий - азотофиксаторов, и, безусловно, учитывается эффективное плодородие почвы; в расходную часть включается вынос питательных веществ с увозимым с поля урожаем, потери элементов питания из почвы и удобрений с поверхностным стоком воды, вымывания (инфильтрации), газообразные потери (например, азота в результате денитрификации). Метод нормативного баланса более сложен, применение его в производственных условиях в полном объеме затруднено, потому

практикуется обычно при постановке специальных балансовых опытов для углубленного и детального изучения всех элементов баланса.

В основе метода лежат нормативы затрат питательных веществ для получения 1 т урожая.

Дозы удобрений определяют отдельно по каждому элементу по формуле:

$$D = N \times U_{\text{п}} \times K,$$

где D – доза N, P, K на планируемый урожай, кг/га д.в.;

$U_{\text{п}}$ – планируемый урожай, т/га или $\text{м}^3/\text{га}$;

K – поправочный коэффициент на содержание подвижного фосфора и калия в почве.

При расчёте нормы азота поправочный коэффициент равен 1.

Расчитанную дозу азота дифференцируют в зависимости от результатов почвенной и растительной диагностики, обеспечивая дробность его внесения с учётом биологических особенностей культур.

Поправочный коэффициент на содержание подвижных питательных веществ в почве целесообразно рассчитывать для каждого конкретного участка, поля, квартала.

$$K = \frac{C_{\text{ср}}}{C},$$

где K – поправочный коэффициент;

$C_{\text{ср}}$ – среднее содержание элемента, мг/100г почвы для определённой культуры;

C – фактическое содержание элемента питания в почве, мг/100 г почвы.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды доза азотных удобрений не должна превышать максимально допустимую (табл. 4).

Таблица 4. – Максимальные дозы азота минеральных удобрений и соответствующие им уровни урожаев сельскохозяйственных культур

Культура	Предельно допустимая годовая доза азота, кг/га д. в.	Урожайность, ц/га
Озимая пшеница	160	50
Озимая рожь	100	35
Ячмень	100	50
Овес	100	45
Гречиха	55	15
Сахарная свекла	150	400
Лен-долгунец (волокно)	40	11
Картофель	120	250
Морковь	90	500
Свекла столовая	100	500
Помидоры	100	500
Огурцы	100	300
Капуста	150	700
Лук-репка	80	300
Кормовые корнеплоды	160	900
Кукуруза на силос	155	550
Однолетние травы (сено)	90 65	50 60
злаковые		
бобово-злаковые		
Многолетние травы (сено)	100 60	60 65
злаковые		
бобово-злаковые		
Культурные пастбища неорошаемые	210 240	70 (сух. масса) 80 (сух. масса)
орошаемые		
Сеяные сенокосы неорошаемые	220 240	90 (сух. масса) 100 (сух. масса)
орошаемые		

При планировании урожая ниже приведенного уровня, предельно допустимую дозу азота уменьшают согласно формулы:

$$DN = DM \times \frac{Yn}{Y},$$

где DN – планируемая доза азота, кг/га д.в.;

DM – предельно допустимая доза азота, кг/га д.в.;

Yn – планируемый урожай, ц/га;

Y – урожай, приведенный в приложении, ц/га.

Установление норм удобрений по средним рекомендуемым нормам с учетом плодородия почв.

Примерные средние рекомендуемые нормы минеральных удобрений для сельскохозяйственных культур приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Примерные средние нормы минеральных удобрений (в кг д.в. на 1 га), рекомендуемые научно-исследовательскими учреждениями для Нечернозёмной зоны Российской Федерации

Культура	Дерново-подзолистые суглинистые			Дерново-подзолистые супесчаные			Серые лесные и оподзоленные чернозёмы		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимые зерновые по занятым парам	40	60	40	60	60	60	30	40	40
Озимые зерновые по пласту клевера	20	60	40	30	50	60	20	40	40
Яровые зерновые	30	30	20	60	40	40	30	30	30
Горох на зерно	15	60	40	20	40	40	-	40	40
Гречиха	30	60	40	40	40	-	30	40	40
Просо	30	40	40	40	40	40	20	40	40
Лён по клеверищу	30	60	70	40	60	80	20	60	70
Картофель	60	60	60	60	60	90	40	60	60
Кукуруза и другие силосные	90	90	90	90	60	90	90	60	90
Сахарная свекла и другие корнеплоды	90	90	90	90	60	90	90	60	90
Однолетние травы	30	40	40	40	40	60	30	40	60
Многолетние травы	-	40	40	-	40	60	-	40	40

<i>Продолжение таблицы 5</i>									
Культурные луга	30	40	60	40	40	80	20	40	60
Культурные пастбища	60	60	60	60	60	120	40	40	60
Капуста*	90	60	90	120	60	120	90	60	90
Столовые корнеплоды*	60	60	90	90	80	120	60	60	60
Огурцы*	60	40	30	90	60	60	60	60	60
Томаты*	45	70	60	60	90	90	60	90	90

* - при внесении органических удобрений 20-40т/га

На основании имеющихся в хозяйстве картограмм устанавливают обеспеченность почв фосфором и калием, пользуясь группировками почв по содержанию подвижного фосфора и обменного калия (табл. 6, 7 и 8).

Таблица 6 - Группировка почв по содержанию подвижного фосфора, определяемого по методам Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Эгнера-Рима *

№ группы	Содержание подвижного фосфора	По методу			
		Кирсанова	Чирикова	Мачигина	Эгнера-Рима
		P ₂ O ₅ мг/кг почвы			
1	Очень низкое	Менее 25	Менее 20	Менее 10	Менее 50
2	Низкое	26-50	21-50	11-15	51-70
3	Среднее	51-100	51-100	16-30	71-140
4	Повышенное	101-150	101-150	31-45	Более 140*
5	Высокое	151-250	151-200	46-60	
6	Очень высокое	Более 250*	Более 200*	Более 60*	

* при наличии образцов с содержанием подвижного фосфора выше 6-й группы по методам Кирсанова, Чирикова, Мачигина и 4-й группы по методу Эгнера-Рима вводится дополнительная группировка, приведенная ниже.

Таблица 7 - Дополнительная группировка по содержанию подвижного фосфора*

№ группы	Методы определения			№ группы	Метод Эгнера-Рима
	Кирсанова	Чирикова	Мачигина		
6	251-500	201-500	61-100	4	141-200
7	501-1000	501-1000	101-200	5	201-300
8	1001-2000	1001-2000	201-300	6	301-400

Источник: Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. М.: Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы, 1994.

Таблица 8 - Группировка почв по содержанию обменного калия определяемого по методам Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Масловой, Эгнера-Рима*

№ группы	Содержание подвижного фосфора	По методу				
		Кирсанов а	Чириков а	Мачигин а	Маслово й	Эгнера -Рима
		K ₂ O мг/кг почвы				
1	Очень низкое	<40	<20	<100	<50	
2	Низкое	41-80	21-40	101-200	51-100	<70
3	Среднее	81-120	41-80	201-300	101-150	71-140
4	Повышенное	121-170	81-120	301-400	151-200	>140
5	Высокое	171-250	121-180	401-600	201-300	
6	Очень высокое	>250*	>180	>600	>300	

Примечание: Метод Кирсанова используют для дерново-подзолистых и серых лесных почв; метод Чирикова - для некарбонатных черноземов; Мачигина - для карбонатных черноземов, каштановых, бурых почв и сероземов.

При наличии образцов с содержанием обменного калия выше 6-й группы по методам Кирсанова, Чирикова, Мачигина, Масловой и 3-ей

группы по методу Эгнера-Рима вводится дополнительная группировка, приведенная ниже.

Таблица 9 - Дополнительная группировка по содержанию обменного калия

№ группы	Методы определения				№ группы	Метод Эгнера-Рима
	Кирсанова	Чирикова	Мачигина	Маловой		
6	251-500	161-500	601-1000	301-500	4	141-200
7	501-1000	501-1000	1001-2000	501-1000	5	201-300
8	1001-2000	1001-2000	2001-3000	1001-2000	6	301-400
9	2001-3000	2000-3000	3001-4000	3000-4000	7	401-500
10	>3000	>3000	>4000	>5000	8	>500

Источник: * Методические указания по проведению комплексного агрохимического обслуживания почв сельскохозяйственных угодий. М.: Центр научно-технической информации пропаганды и рекламы, 1994.

Таблица 10 - Группировка почв по степени кислотности*

№ группы	Степень кислотности	pH(сол)
1	Очень сильнокислые	Менее 4,0
2	Сильнокислые	4,1-4,5
3	Среднекислые	4,6-5,0
4	Слабокислые	5,1-5,5
5	Близки к нейтральным	5,6-6,0
6	Нейтральные	Более 6,0

По таблицам 5 и 8 определяем обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием, по табл. 4 и 5 средние рекомендуемые нормы минеральных удобрений и корректируем эти нормы, пользуясь поправками к средним нормам в таблице 12, а с учетом кислотности в табл. 13.

Коэффициенты корректировки для фосфора вводятся для всех культур, калия - для культур - калиефобов, а также для бобовых трав,

отличающихся высоким потреблением калия в условиях нейтральных и слабокислых почв.

Если почвы лёгкие (песчаные и супесчаные), то средний показатель содержания фосфора по группам увеличивают на 20-25%, а на тяжёлых - снижают на эту же величину. Для азота в отсутствие картограмм можно использовать средние рекомендуемые нормы без изменения или по содержанию легкогидролизуемого азота в почве (табл. 11).

Таблица 11 - Содержание в почве легкогидролизуемого азота (Ю.В. Никитин, П.Н Бурченко, К.С Орманджи, 1988)

Почвы	Легкогидролизуемый азот, мг на 100 г почвы
Дерново-подзолистые супесчаные	3...6
Серые оподзоленные	5...8
Темно серые оподзоленные	8...10
Чернозёмы оподзоленные и выщелоченные	9...11
Чернозёмы типичные малогумусовые	10...14
Чернозёмы южные и каштановые почвы	10...14

По данным других источников (Б.А. Ягодин Б.А. и др.,1989) в почвах в зависимости от уровня плодородия содержится легкогидролизуемого азота:

в почвах среднего плодородия - 4-6 мг/100 г почвы,

в почвах повышенного плодородия - 6-8 мг/100 г почвы,

в почвах высокого плодородия - 8-10 мг/100 г почвы.

Для каштановых и черноземных почв средняя норма удобрений принята за единицу и отнесена к группе почв по содержанию подвижных форм соединений фосфора и калия для зерновых, зернобобовых и льна - к почвам с низким содержанием; для пропашных - к почвам со средним; для овощных культур - с повышенным содержанием питательных элементов в почве.

Потребности средневозрастных насаждений древесных пород в азоте, фосфоре и калии находится почти на одном уровне потребности зерновых культур (Родин Л.Е., Базилевич, 1965).

Расчет доз удобрений можно представить в виде формулы:

$$D = D_1 \times K_1 \times K_2,$$

где D - норма удобрения кг на 1 га;

D₁ - средняя рекомендуемая норма кг на га;

K₁ - поправочный коэффициент на обеспеченность почвы питательным элементом;

K₂ - коэффициент корректировки норм фосфорных и калийных удобрений с учетом кислотности.

Таблица 12 - Поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений, в зависимости от содержания подвижного фосфора и калия (в долях от средних норм)

Содержание в почве питательных веществ	Зерновые культуры	Зернобобовые культуры и травы	Лён	Пропашные культуры	Овощные культуры
Фосфора	Фосфорные удобрения				
Очень низкое	1,3-1,5	1,5-2,0	1,3-1,5	Необходимо предварительное окультуривание почв, без него получение среднего урожая не обеспечено	
Низкое	1	1	1	1,3-1,57	Тоже
Среднее	0,6-0,75	0,7-0,8	0,6-0,7	1	1,2-1,5
Повышенное	Рядковое удобрение	0,5-0,6	0,4-0,5	0,5-0,7	1
Высокое	Не вносят	Не вносят	0,2-0,3	Рядковое удобрение	0,6-0,8
Очень высокое	Не вносят	Не вносят	Рядковое удобрение	Не вносят	Рядковое удобрение
Калия	Калийные удобрения				
Очень низкое	1,3-1,5	1,3-1,5	1,5-2	1,5-2	1,5-2

<i>Продолжение таблицы 12</i>					
Низкое	1	1	1,0-1,5	1,3-1,5	1,3-1,5
Среднее	0,6-0,75	0,75-1	0,8-1	1	1-1,5
Повышенное	Не вносят	0,7-0,8	0,75-0,8	0,6-0,8	1
Высокое	Не вносят	0,5-0,6	0,7-0,8	0,5	0,6-0,8

Примечание: 1. За единицу принята доза кг/га действующего вещества, рекомендуемая научными учреждениями для данной зоны и культуры. 2. На песчаных и супесчаных почвах поправки к средним нормам удобрения зерновых, зернобобовых и трав увеличивают на 20-30 %, для пропашных культур на 40-50%. 3. Доза рядкового удобрения применяется без поправок.

**Таблица 13 - Коэффициенты корректировки норм фосфорных и калийных удобрений с учетом кислотности
(по Л.П. Детковской, 1987 г.)**

Удобрение	Коэффициент корректировки норм удобрений при pH						
	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,0-6,5	6,6-7,0	>7
K _{P2O5}	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8
K _{K2O}	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3

Применение этого способа позволяет контролировать и регулировать плодородие почвы (при неограниченных ресурсах удобрений). Но имеются и недостатки, связанные с тем, что данные о выносе питательных веществ с урожаем неточны (по справочнику), а коэффициенты распределения, являясь производными от коэффициентов использования питательных веществ из удобрений, могут существенно изменяться.

В основу метода положены зональные нормативы затрат элементов питания на получение 1 т сельскохозяйственной продукции, которые представлены в виде табличного материала с учетом почвенно-климатических условий и вида сельскохозяйственных культур. Дозы удобрения (Ду, кг/га) определяют по формуле:

$$Ду = Н \times Уп \times К,$$

где: Н - норма затрат удобрений на получение 1 т основной продукции, кг;

Уп - планируемая урожайность, т/га;

К- поправочный коэффициент на плодородие почвы: при среднем содержании подвижных форм фосфора и обменного калия в почве - 1,3, повышенном - 1, высоком - 0,7, очень высоком - 0,5.

Недостаток метода состоит в том, что в нем не учитывается влияние уровня предшествующей удобренности культур.

7.2. Расчётно-балансовый метод

Балансовый метод программирования урожайности позволяет учитывать комплексное влияние на растение основных факторов жизни. Он основывается на применении более простых физико-статистических моделей продукционного процесса. При этом процедура программирования сводится к определению уровня урожая, расчету доз удобрений, разработке технологических карт и т.д. В основных расчетных формулах используются обобщенные во времени и пространстве почвенно-климатические показатели. Этот метод получил наибольшее развитие в работах МСХА, ЛСХИ, АФИ, Башкирского СХИ, Татарского НИИСХ, УкрНИИОЗа и ряда других учебных и научно-исследовательских отраслевых и зональных учреждений и находит пока наиболее широкое применение в практике программирования урожаяев.

Основные балансовые уравнения, применяемые в этих расчетах, приведены выше при рассмотрении типов моделей.

Метод, разработанный в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии, позволяет прогнозировать возможную величину урожая (У) с учетом эффективного плодородия почвы по комплексным показателям – баллу бонитета почвы (Бп) и цены балла пашни (Цб) по уравнению

где Пуд – прибавка урожая от удобрений, %.

Цена балла пашни для зерновых культур равна в среднем 37 кг зерна, для картофеля – 281 кг, для льна: волокно – 11,4 кг, семена – 9,1 кг. Этот показатель – величина непостоянная и меняется в зависимости от почвенной разности, агрохимических свойств почвы.

Для учета агрохимических свойств почвы применяются поправочные коэффициенты к цене балла пашни. Произведение

показателя балла пашни на цену балла дает уровень урожая, который может быть получен за счет эффективного плодородия почвы без применения удобрений на фоне высокого уровня агротехники.

Метод нашел широкое применение при программировании урожая в Белоруссии. Средние отклонения фактической урожайности культур от расчетной величины составляют 10 – 20%. При неблагоприятных условиях погоды они, естественно, возрастают.

В БелНИИПА под руководством Т.Н. Кулаковской разработана интегральная модель оптимальных свойств средне- и легкосуглинистых почв, эффективное плодородие которых дает возможность получать 45 – 60 ц/га зерна, или 65-75 ц/га корм. ед. Модель позволяет прогнозировать изменение во времени исходного состояния свойств почв под воздействием факторов интенсификации. На ее основе возможно плановое управление процессами расширенного воспроизводства плодородия почв.

Оптимальные значения основных ее параметров характеризуются следующими показателями: мощность пахотного горизонта – 25-30 см; содержание доступных форм макроэлементов (в мг/100 г почвы) -азота ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) - 3 - 4,5; фосфатов – 25- 30 (по Кирсанову); обменного калия – 20- 25; магния -10 – 12; содержание микроэлементов (в мг/кг почвы): меди – 3-4, кобальта - 0,8-1,2, молибдена -0,1 - 0,4, бора - 0,5-0,6, цинка – 6-7; реакция почвенного раствора - рНКС1 -6,0-6,5, рНн20 - 6,5-7,0, подвижный алюминий отсутствует, гидролитическая кислотность - 1,5-2 мэкв/ 100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 8-12 мэкв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса – 80- 90%; объемная масса - 1,1- 1,2 г/см³; порозность общая – 50- 55%, воздухоемкость – 25-30%; высокая активность почвенных ферментов – инвертазы (более 1 мг глюкозы), полифенолоксидизы (свыше 3 мг пурпургалина), каталазы (более 1,3 мл кислорода); низкая активность пероксидазы и высокая нитрофикационная способность. Для этих почв характерно отсутствие или незначительное проявление эродированности и завалуненности; запас продуктивной влаги в слое 0-50 см к началу вегетации 130-150 мм, коэффициент использования годовых осадков - 0,6-0,7.

Установлены нормативы затрат на изменение свойств дерново-подзолистых суглинистых почв. Для повышения содержания гумуса в

почве на 0,1% требуется внесение на гектар 30 - 40 т навоза; для увеличения на 1 мг/100 почвы P_2O и K_2O – соответственно 40 - 45 кг/га фосфорных и 60 - 70 кг/га калийных удобрений; для смещения рН в первый год на 0,15 - 0,2 на суглинистых почвах и на 0,2 - 0,35 на супесчаных – внесение 1 т/га качественных известковых материалов.

Расчетно-балансовые методы определения норм удобрений основаны на учете выноса питательных веществ урожаем сельскохозяйственных культур и коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений. Исходные данные для расчета выноса питательных веществ урожаем берут из местных справочников. По ряду полевых культур целесообразно использовать данные Ставропольского ГАУ и Агрохимцентра «Ставропольский».

Расчетно-балансовые методы определения норм удобрений можно объединить в две группы:

1 – определение норм удобрений по выносу питательных веществ планируемым урожаем с применением коэффициентов использования. Наиболее приемлемым методом расчета норм удобрений в производственных условиях является расчет на планируемую прибавку урожая. За исходное принимают урожайность сельскохозяйственных культур с неудобренных полей хозяйства или используют аналогичные данные близко расположенных опытных станций, научно-исследовательских институтов. Количество питательных веществ, необходимое для планируемой прибавки урожая, рассчитывают по добавочному выносу с учетом коэффициентов использования элементов питания из удобрений.

Расчет норм удобрений на планируемый урожай предлагается вести с учетом возможного урожая за счет сложившегося плодородия почвы и затем уже на установленную прибавку урожая. При этом используют данные по содержанию подвижного фосфора и калия в почве, коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений, вынос элементов питания единицей продукции. При расчетах берется норма на единицу основной продукции с учетом соответствующего количества побочной. Запасы питательных веществ (калия и фосфора) в почве определяются по агрохимическим картограммам или агрохимическим паспортам. Дозы азотных

удобрений предлагается определять по средним рекомендованным нормам.

Различные модификации балансового метода определения норм удобрений могут широко применяться при большой дифференциации коэффициентов использования питательных веществ из почвы и минеральных удобрений. Целесообразно применять коэффициенты отдельно для культур, сортов, разных почв, отдельных видов и форм удобрений.

В перечисленных вариантах балансовых методов не учитывается последствие минеральных и органических удобрений, действие пожнивных и корневых остатков предшественников. При расчетах имеет смысл принимать во внимание коэффициенты использования питательных веществ из удобрений в последствии и действие минеральных веществ, содержащихся в пожнивных и корневых остатках.

Исходя из изложенного, можно с полной уверенностью ставить вопрос об уточнении коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений. Как мы и указывали, новые коэффициенты будут принципиально отличаться от принятых ныне в агрохимической науке и практике, а это повлечет за собой непременно уточнение норм удобрений под сельскохозяйственные культуры в севооборотах Юга России.

Предложенный расчетный метод способствует повышению содержания основных элементов питания в почвах хозяйства и выравниванию полей по уровню плодородия. По мере достижения во всех полях хозяйства оптимального содержания фосфора и обменного калия рекомендуется перейти на принципы биологического земледелия с минимальным использованием минеральных удобрений. Проверка этой методики расчета норм удобрений элементов питания в экспериментах на полях колхоза «Казьминский» Кочубеевского района, других хозяйств Ставропольского края показала ее высокую точность.

В производственных опытах колхоза «Казьминский» Кочубеевского района в среднем за 1976-1980 гг. в зависимости от предшественников урожайность озимой пшеницы колебалась в пределах 63,1-91,1% от запланированной. Запланированная урожайность пшеницы была получена после гороха, близкая к

планируемой (89 - 91%) — после сахарной свеклы, озимой пшеницы. Высокую оправдываемость программирования урожайности получили по озимому ячменю (81%). Яровые зернобобовые и зерновые в среднем за пять лет обеспечили прибавки к запланированной урожайности: овса - на 23,6%, гороха - на 4%. Исключение из этого ряда представляет яровой ячмень. Высокой степенью оправдываемости прогноза урожайности характеризуется кукуруза на зерно и сахарная свекла (79-80%). Недостаточно, на наш взгляд, высокую оправдываемость программирования (67-70%) обеспечивают такие пропашные культуры, как подсолнечник и кукуруза на силос. Промежуточные культуры обеспечили запрограммированную урожайность.

В практике находит применение метод определения норм удобрений по возмещению удобрениями выноса урожаем питательных веществ в зависимости от содержания их в почве. На почвах, с небольшими запасами гумуса растения особенно сильно нуждаются в азоте – вынос азота урожаем следует возмещать полностью; с низким и очень низким содержанием подвижного фосфора фосфорные удобрения целесообразно вносить в нормах, превышающих вынос его урожаем; со средним уровнем подвижного фосфора фосфорные удобрения рекомендуется вносить в нормах, покрывающих вынос его урожаем; в почвах, хорошо обеспеченных фосфором, вынос фосфора можно возмещать частично. Такой же принцип подхода рационален и к возмещению выноса урожаем калия.

Для типичных и обыкновенных черноземов рекомендуются следующие нормы внесения (процент от выноса):

- азота под зерновые – 50, под пропашные – 60, под сеянные злаковые травы – 30;
- фосфора при низком и очень низком содержании P_2O_5 , в почве – 130, среднем – 100, повышенном и высоком – 30;
- соответственно степень возмещения калия – 80, 60 и 30%.

На южных черноземах и темно-каштановых почвах без орошения соответственно вышеприведенным градациям содержания подвижного фосфора в почве, степень его возврата (%) от выноса урожаем составляет: 100, 80 и 30; степень возврата калия соответственно 80 и 50%, а в третьем случае не вносят; на выщелоченных черноземах степень возврата азота в зернопропашных севооборотах составляет

около 60%, фосфора при содержании в почве подвижных фосфатов 25-35 мг/кг почвы – 80-90%, калия при содержании в почве обменного калия 260 и более мг/кг почвы – 35-40%.

Нормы удобрений под планируемую урожай на основе изложенных принципов рассчитываются таким образом: определяют планируемую урожай культуры, рассчитывают вынос азота, фосфора и калия планируемым урожаем, определяют необходимый для данного поля, исходя из его агрохимических показателей, размер возмещения выноса, рассчитывают норму действующего вещества удобрений.

7.3. Расчёт с учётом оптимизации показателей плодородия почв

Наиболее широко применяется при программировании урожая, отличается логичностью и простотой расчетной схемы, но имеет и недостатки. Вынос питательных веществ на единицу продукции и коэффициенты использования питательных веществ из удобрений и почвы сильно варьируют в зависимости от плодородия почвы, биологических особенностей растений, погодных условий и других. Значения этих коэффициентов не всегда можно установить с необходимой точностью, поэтому отклонения расчетных доз удобрений от фактической потребности растений в питательных веществах на планируемую урожайность иногда превышают 50 %.

В связи с этим целью проведенных исследований была разработка более точного способа, который позволял бы определять дозы удобрений на планируемую урожайность с ошибкой, сопоставимой с ошибкой определения подвижных форм питательных веществ в почве, сочетать логичность и простоту расчетной схемы способа элементарного баланса с преимуществами нормативного способа, а также не имел бы описанных выше основных недостатков — непостоянства коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений и выноса с урожаем. При этом возможны два пути: определение значения коэффициентов как функции многих переменных и разработка новой схемы балансового расчета, в которой применяются менее варьирующие коэффициенты.

При разработке способа исходили из следующих предположений (вытекающих из анализа информации о действии удобрений на урожай растений):

— в пределах оптимальных доз действие каждого вида питательного вещества согласно принципу лимитирования можно считать независимым;

— для повышения точности определения доз удобрений на планируемую урожайность необходимо все источники и формы каждого из элементов питания, различающиеся по степени усвояемости растениями, привести к форме, эквивалентной по действию на урожай питательному веществу применяемого минерального удобрения.

Дозу питательного вещества минерального удобрения на планируемую урожайность рассчитывают по формуле, если агрохимический анализ почвы проведен в год получения урожая:

$$X_m = C_x U - m \times X_n - m x_{сф} X_{сф} - X_{ос},$$

где X_m – доза питательного вещества минерального удобрения (N, P, K), кг/га;

C_x – доза питательного вещества на получение единицы урожая (100 кг сухого вещества общей биомассы или зерна, корнеплодов, зеленой массы), кг/100 кг;

U – планируемая урожайность, т/га сухого вещества общей биомассы или зерна, корнеплодов, зеленой массы;

$m x$ – коэффициент эквивалентности подвижного питательного вещества почвы (показатель, означающий количество питательного вещества минерального удобрения в кг/га, равноценное по влиянию на урожай 1 мг/100 г питательного вещества почвы в данных условиях), кг/мг;

X_n – содержание питательного вещества в почве, мг/100 г;

$m x_{сф}$ – коэффициент эквивалентности азота, фиксированного свободноживущими азотфиксаторами, азоту минерального удобрения, кг/кг;

$X_{сф}$ – количество азота, фиксированного свободноживущими азотфиксаторами, кг/га (по данным И. С. Шатилова (1973), за период вегетации растений за счет свободной фиксации накапливается 16–37 кг/га азота);

$X_{ос}$ – количество азота, поступающего с осадками, кг/га.

При определении дозы питательного вещества в форме органических удобрений используют уравнение

$$X_{оу} = (C_x U - m \times X_n - m x_{сф} X_{сф} - X_{ос}) \div m x_{оу},$$

где X_{ou} – доза питательного вещества в форме органического удобрения на планируемую урожайность, кг/га;

m_{xou} – коэффициент эквивалентности питательного вещества органического удобрения по действию на урожай питательному веществу применяемого минерального удобрения, кг/кг.

Знание особенностей питания сельскохозяйственных культур, которые предопределяются биологией растений, внутренними и внешними условиями питания в конкретных условиях окружающей среды, а также метаболизмом поглощенных элементов, позволяет разрабатывать научно обоснованные системы удобрения, направленные на получение оптимальных урожаев продукции удовлетворительного качества.

К настоящему времени имеется значительный аналитический материал по содержанию элементов питания в растениях по основным фазам развития культур. Нередко встречаются материалы, отражающие содержание питательных веществ по органам растений. Но, к большому сожалению, эти данные разбросаны крупными по такому множеству источников, что обучающемуся не под силу их найти, особенно в современных условиях.

Исключительное значение для освоения агрохимии представляет вопрос о потреблении элементов питания по фазам развития увязанный с периодичностью питания растений и приемами регулирования поступления элементов питания. Накопленный на Юге России различными учебными заведениями, научно-исследовательскими учреждениями экспериментальный материал нуждается в обобщении, систематизации и сведении его в единое учебное пособие.

Очень сложен вопрос о реакции сельскохозяйственных культур на элементы питания и их соотношение в применяемых удобрениях. Разнообразие климатических и почвенных условий, свойств почвы требует дифференцированного подхода по сравнению с общероссийскими, да и зональными рекомендациями. Отмечаемое падение плодородия почвы бесспорно. Но нередко мы забываем о «качестве» самого плодородия. Например, мощные предгорные черноземы, содержащие до 8% гумуса, не обеспечивают минеральным азотом ни одну из возделываемых в зоне культур и очень нуждаются в применении азотных удобрений, т. е. азот на черноземе оказывается

лимитирующим элементом, или в почвах каштанового комплекса сухих и сухостепных районов подвижного фосфора оказывается больше, чем в лучших черноземах Юга России

Отсюда неудивительно, что урожайность здесь при стечении благоприятных погодных условий оказывается выше, чем на черноземах. К примеру, СХП «Русь» Советского района Ставропольского края, расположенное в зоне темно-каштановых почв, при минимальных затратах минеральных удобрений получает урожай порядка (ц/га): озимой пшеницы 36-50, гороха 28-40, подсолнечника 22, а Советский район в целом по урожайности зерновых и других культур занимает лидирующее положение в крае.

С учетом вышеизложенного, следует разработать научно обоснованную систему удобрения культур. Рекомендованные раньше системы удобрений в рыночных условиях в связи с новыми формами организации хозяйств, многоукладным ведением хозяйственной деятельности утратили, если не сказать потеряли, свою значимость и нуждаются в уточнениях.

В связи с этим предлагается уточнять нормы по формулам, ранее разработанным нами. Расчет норм удобрений под планируемую урожайность проводится по формуле:

$$N_y = (B_y - B_y \times K_n) \div K_y \times 100,$$

где N – норма P_2O_5 (K_2O), кг/га;

B_y – вынос P_2O_5 (K_2O) с планиваемым урожаем, кг/га;

K_n – коэффициент использования P_2O_5 (K_2O) из почвы от выноса урожая;

K_y – коэффициент использования питательных веществ из удобрений, %.

Нормы N рассчитываются по преобразованной формуле:

$$N_y = (B - B_y \times K_n (\text{фосфора}) \times K) \div K_y \times 100,$$

где B – вынос N с планиваемым урожаем;

B_y – вынос P_2O_5 с планиваемым урожаем.

K - вынос N с планиваемым урожаем \div вынос P_2O_5 с планиваемым урожаем.

Установленная норма N корректируется на основе диагностики – почвенной, растительной, тканевой, с учетом результатов полевых

опытов, уровня возможного накопления азота хозяйственно ценной частью урожая.

Опубликованные нами ранее коэффициенты использования элементов питания из почвы соответствовали принятым группировкам по обеспеченности почвы азотом, фосфором, калием. Отсюда, на очень широкий интервал приходится один коэффициент, а рекомендации уточнять их применительно к каждому показателю содержания фосфора, калия не нашли отклика у пользователей. Таким образом, для какого-то поля нормы удобрений искусственно занижались, а для другого – необоснованно увеличивались. Предложенный нами ранее для пользования интервал содержания фосфора в 0,5 мг/кг почвы, калия 5 мг/кг почвы не отвечал на вопрос: какой коэффициент принять, если в почве содержится не 10,5 мг/кг почвы P_2O_5 а, например, 10,6; 10,7; 10,8; 10,9 мг/кг. Поэтому следует воспользоваться «ценой» 0,1 мг P_2O_5 , которая равна 0,002. Тогда коэффициенты выстроятся в следующий ряд: 10,5 мг/кг почвы - коэффициент равен 0,31; 10,6-0,312; 10,7-0,314; 10,8-0,316; 10,9-0,318; 11,0-0,32. Таким образом, коэффициент соответствует каждой конкретной цифре по фосфору, содержащейся в паспорте поля или на картограмме.

Цена 1 мг K_2O /кг почвы по отношению к коэффициенту использования калия из нее приравнивается к 0,002. Отсюда, известные величины коэффициентов (В.В.Агеев с соавт., 1999), соответствующие указанному в картограмме (паспорте) содержанию K_2O , увеличивается на 0,002.

Расчетные нормы удобрений по своей эффективности не уступают установленным эмпирическим способом, а нередко, по прибавкам урожая и качеству продукции, превосходят последние. Кроме того, расчетные нормы позволяют экономно расходовать минеральные и органические удобрения. Рассчитанные нормы туков распределяются по способам удобрения, что показано ниже.

Научно обоснованное обеспечение питания растений позволяет выращивать программируемый урожай с хорошими потребительскими качествами. К большому сожалению, Ставропольский край в условиях рыночной экономики не стабильно производит продукцию растениеводства, а главное, по качеству не удовлетворяющую требованиям потребителя, реализует ее только на кормовые цели.

Достаточно сказать, что из урожая зерна 1997 г. стандарту на «сильное» отвечало менее одного процента.

В хозяйствах рекомендованные нормы удобрений корректируются в связи с агрохимическими свойствами почвы каждого поля. Корректированию необходимо подвергать нормы фосфорных и калийных удобрений. Нормы азотных удобрений, как правило, остаются без изменений. Недостатком этого метода является отсутствие прикидок по предельно допустимым нормам в связи с экологической обстановкой и необходимостью охраны окружающей среды от негативного воздействия удобрений.

Наиболее доступным и простым методом корректирования рекомендованных норм удобрений является метод использования поправочных коэффициентов. В основу метода положены установленные научно-исследовательскими учреждениями средние нормы под сельскохозяйственные культуры. Средняя норма принята за единицу и отнесена к среднему содержанию в почве азота, фосфора и калия. Для уточнения нормы удобрений среднюю рекомендованную норму умножают на соответствующий поправочный коэффициент.

7.4. Компьютерные методы расчета норм (доз) удобрений

При применении математических методов и ЭВМ для определения норм удобрений используют специальные математические модели — производственные функции. Решением этих функций можно установить закономерность влияния норм удобрений и погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур, прогнозировать урожайность, рассчитывать оптимальные, экономически обоснованные нормы удобрений. Применение современных методов математической статистики позволяет быстро и достаточно полно обобщать результаты полевых опытов для определения потребности в удобрениях и их оптимального распределения.

Дозы удобрений можно также определить с помощью математических моделей, которые описывают количественную функциональную зависимость между урожаем и уровнем минерального питания в конкретных условиях. Коэффициенты регрессии, устанавливающие количественную связь между урожайностью и дозами

удобрений находят по результатам длительных полевых опытов с удобрениями в конкретных почвенно-климатических условиях.

Существенным недостатком расчетных методов является также и то, что не всегда учитываются реальные возможности получения планируемых урожаев, хотя хорошо известно, что для повышения урожаев недостаточно лишь внести в почву необходимое количество питательных веществ. С учетом изложенных замечаний, расчет доз удобрений по любому из описанных в настоящей главе методов можно применять в практических целях лишь для ориентировочного определения потребности в удобрениях отдельных севооборотов, полей хозяйства с обязательной ежегодной проверкой этих расчетов по полученным в хозяйстве результатам и по данным производственных опытов с экономико-энергетической оценкой эффективности использования удобрений.

Среди многочисленных условий (факторов) эффективного применения минеральных удобрений Д.Н. Прянишников большое значение придавал срокам и способам внесения их в почву. Теперь таких способов существует три: основное внесение под передпосевную обработку, которое чаще всего осуществляется осенью, предпосевное рядковое или луночное и, наконец, подкормка в период вегетации (корневая или некорневая).

Одним из путей повышения эффективности минеральных удобрений при небольших их количествах Д.Н. Прянишников считал применение фосфорных удобрений в рядки. Он рекомендовал также применение весенней подкормки азотными удобрениями озимых культур. Признавал он целесообразность применения в дополнение к основному удобрению подкормки растений и фосфорными удобрениями, но только в тех случаях, когда они не были внесены в основном удобрении или же при таких условиях, когда получение высокого урожая обеспечено достаточным количеством влаги, например, при орошении и т. д. Он считал нерациональной довольно часто практикующуюся замену основного удобрения подкормками, особенно фосфорными и калийными.

Сотрудниками кафедры агрохимии и физиологии растений была разработана компьютерная программа «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов» («ОВУПВП»).

Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010613825 «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов». Зарегистрировано 10 июня 2010 г. Предназначена для прогнозирования величины возможных урожаев сельскохозяйственных культур на основании выпавших осадков, распределения их по основным фазам вегетации, температурного режима и гидротермического коэффициента. Тип ЭВМ: IBM PC – совмест. ПК. Язык: Visual Basic. ОС: Windows XP, 98, 2000, Vista. Объем программы: 48 К(М)байт.

Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов

Урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га

Ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 - 1,6м слое почвы, мм ...

Количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм

Коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм/т ...

Результат

Урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га (с учетом прихода воды с оросительной нормой)

Ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 - 1,6м слое почвы, мм ...

Количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм

Приход воды с оросительной нормой, мм

Коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм/т ...

Результат

Потенциальная урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га

Урожайность культуры при стандартной влажности, т/га

Стандартная влажность основной продукции в общей массе урожая, % ...

Сумма соотношений основной и побочной продукции ...

Результат

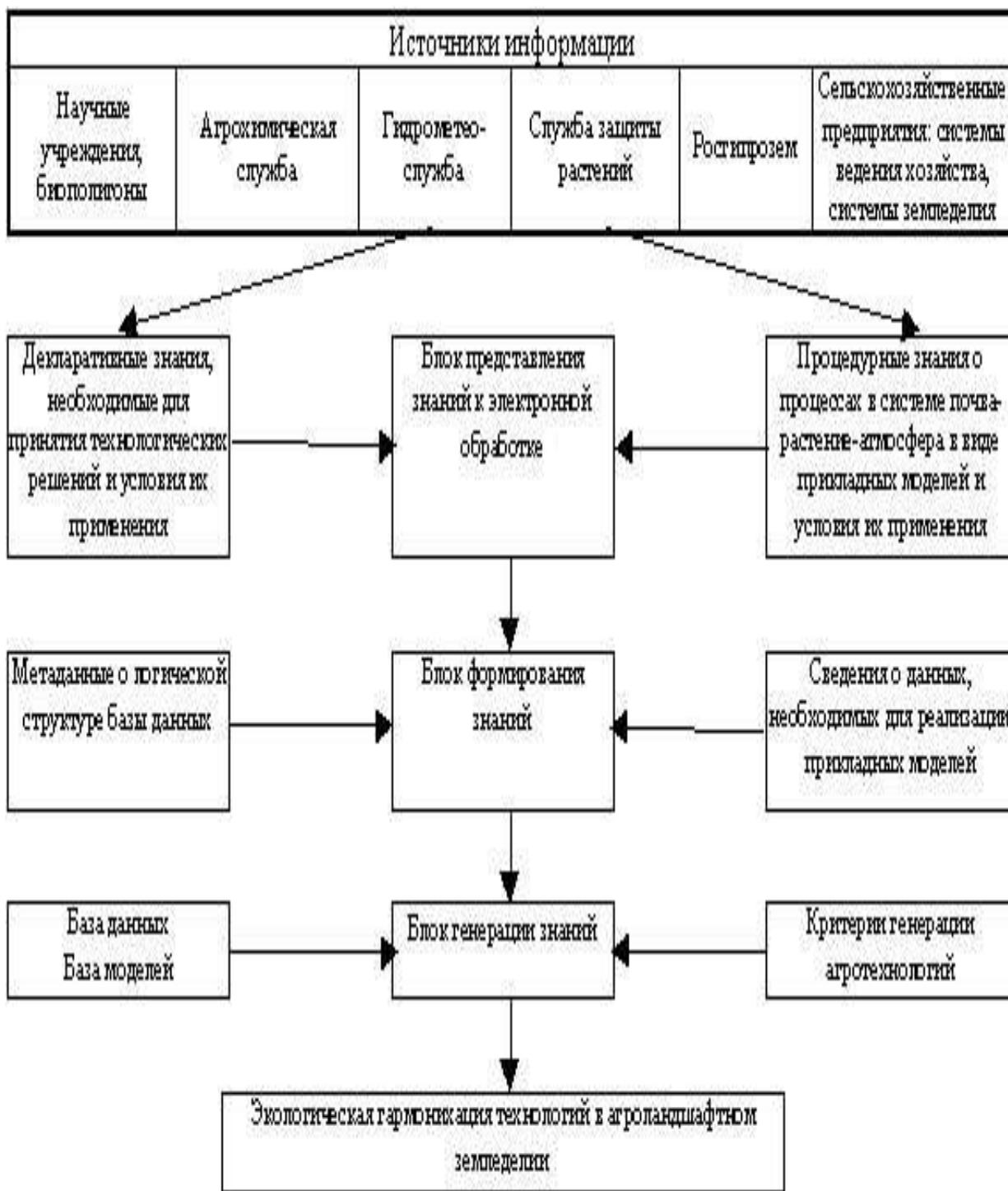
В 2017 году сотрудниками кафедры агрохимии и физиологии растений было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017611169 «Программирование урожая на основе математико-статистических методов». Программа предназначена для определения оптимального варианта программируемой урожайности различных культур на основе экспериментальных данных. Она обеспечивает выполнение следующих функций: раскрытие закономерностей формирования урожайности

сельскохозяйственных культур при различных условиях произрастания, выявление роли отдельных факторов и их сочетаний при программировании урожаев, определение возможной урожайности различных культур в конкретных почвенно-климатических условиях.

Успех проектирования компьютерных систем поддержки агротехнологических решений зависит от создания понятийного аппарата, обеспечивающего электронное представление и комплексирование описательных и процедурных знаний в агрономии на основе естественно-языкового общения с ЭВМ, специализированной обработки знаний и автоматического перевода их с одного языка на другой.

В Агрофизическом НИИ разработаны теоретические и методологические основы построения единого компьютеризированного технологического пространства в области агрономии, предложен понятийный аппарат компьютерного описания технологических операций и агротехнологий в целом, накоплен определенный опыт создания и эксплуатации с помощью ЭВМ систем поддержки агротехнологических решений. Структурная схема формирования генерации знаний в агрономии представлена на рисунке 1.

Под компьютерной моделью агротехнологии мы понимаем определенную экспертно совокупность агротехнологических операций по возделыванию конкретной сельскохозяйственной культуры и представленных в ЭВМ по тем или иным формализованным правилам. Агротехнологическая операция, условия ее выполнения и соответствующие характеристики могут зависеть от агрофизических и агрохимических показателей почвы, биологической специфики возделываемой культуры, сорта, а также от агрометеорологических, экономических и других параметров, сложившихся (ожидаемых) на конкретном поле и (или) в хозяйстве.



Структурная схема формирования и генерации знаний для обеспечения поддержки агротехнологических решений

Рисунок 1 - Структурная схема формирования генерации знаний для обеспечения поддержки агротехнологических решений

Поэтому в формализмах описания агротехнологической операции в общем случае предусмотрены механизмы оценки ее применимости

для конкретных условий с соответствующими агротребованиями, сроками проведения, а также определен порядок выбора нужных машин и агрегатов для выполнения операции на заданном поле. Например, для планирования агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур на предстоящий сезон вегетации может быть использована следующая модель описания агротехнологических операций:

где символом “.”- начинается и заканчивается описание агротехнологической операции; символом “;” в модели описания выделяются простые конструкции (“сроки проведения”) и простые с условиями выбора (“наименование операции” (условия выбора)); символ “{}” - используется для описания конструкций, составленных из комбинации простых; “V”, “□ ” - логические операторы “и” и “или” используются для объединения простых конструкций в более сложные; “[]” - содержимое в этих скобках является не обязательной конструкцией описания данной агротехнологической операции; “(условия выбора)” - в общем случае это арифметическое, логическое условие, выражение или их комбинация, также возможно использовать эту конструкцию для обращения к математической модели оформленной в виде отдельного программного модуля или к встроенной непосредственно в описание операции специальной процедуры для простых вычислений.

Рассмотренная выше форма представления агротехнологической операции является одним из шаблонов (формулой) на основе которого строятся описательные и процедурные знания, составляющие основу агрономических знаний. При функционировании компьютерной системы поддержки принятия решения, возникает необходимость разделить агрономические знания на группы:

- Атрибутивные данные. Это количественные данные о конкретном производстве, для которого необходимо будет синтезировать технологии возделывания культур.
- Процедурные знания. Эти знания описывают количественные расчеты связанные с оценкой большого количества данных.
- Метаданные. Это шаблоны (формулы), на основе которых формируются операции.

- Операции. Это единица технологии строящаяся на основе шаблона, связывающего атрибутивные и процедурные знания.
- Технологии. Выходная информация, строящаяся на наборе операций.

На основе представленного разделения знаний не составляет труда связать воедино базу данных, содержащую количественную информацию и базу знаний, содержащую операции возделывания и технологии с помощью базы метаданных, содержащую шаблоны описания агротехнологических операций.

Использование шаблонов, позволяет отойти от стандартных методов работы с базами данных (БД), когда структура базы и алгоритмы принятия решений жестко заложены в программу и при возникновении необходимости изменения последних, приходится переписывать саму программу. Так же появляется возможность манипулирования самой структурой БД, добавлять поля данных, если их нет в базе, а для генерации технологии они необходимы. Это достигается за счет того, что шаблон является промежуточным звеном между технологической операцией и БД. При формировании технологической операции использование шаблона позволяет в диалоговом режиме ввести все необходимые данные. Избыточность БД на конечную операцию не влияет, а недостаточность данных вызывает необходимость добавления новых полей данных и заполнение их.

Таким образом, кратко рассмотренная методология и новая версия создаваемого соответствующего программного обеспечения позволяет конструировать компьютерную систему выработки и поддержки решений путем использования накопленных в агрономии и смежных с ней наук декларативных и процедурных знаний. Использование компьютерного варианта синтезирования научно-обоснованных агротехнологий позволит также эффективно довести их до конечного потребителя занятого непосредственно в производстве с учетом объективно сложившихся природных параметров и экономических интересов в данном хозяйстве.

ГЛАВА VIII. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов (4 часа)

В условиях Юга России лимитирующим фактором в формировании урожайности сельскохозяйственных культур является влагообеспеченность растений. Уровень урожайности зависит не столько от суммы осадков за вегетационный период, сколько от распределения их по фазам роста и развития растений, а урожайность всех сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае, в том числе и озимой пшеницы, сахарной свеклы, подсолнечника и других в большей мере зависит от погодных условий, чем от удобрений.

В неорошаемом земледелии, если погодные условия вегетационного периода сельскохозяйственных культур приближаются к среднемноголетним, данный метод расчета продуктивности посевов по влагообеспеченности позволяет получать урожайность, близкую к заданной. При орошении программированное возделывание сельскохозяйственных культур предполагает оптимальное оперативное регулирование комплекса факторов внешней среды с целью получения заданного урожая.

Сотрудниками кафедры агрохимии и физиологии растений разработана компьютерная программа «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов» («ОВУПВП»). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010613825 «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов». Зарегистрировано 10 июня 2010 г. Предназначена для прогнозирования величины возможных урожаев сельскохозяйственных культур на основании выпавших осадков, распределения их по основным фазам вегетации, температурного режима и гидротермического коэффициента. Программа может применяться в учебном процессе высших учебных заведений, на производстве предприятий и АПК. Программа «Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов» («ОВУПВП») обеспечивает выполнение следующих функций: учебная; научно-исследовательская.

Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. Язык: Visual Basic. ОС: Windows XP, 98, 2000, Vista. Объем программы: 48 К(М)байт.

Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов

Урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га

Ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 - 1,6м слое почвы, мм ...

Количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм

Коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм/т ...

Результат

Урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га (с учетом прихода воды с оросительной нормой)

Ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 - 1,6м слое почвы, мм ...

Количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм

Приход воды с оросительной нормой, мм

Коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм/т ...

Результат

Потенциальная урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га

Урожайность культуры при стандартной влажности, т/га

Стандартная влажность основной продукции в общей массе урожая, % ...

Сумма соотношений основной и побочной продукции ...

Результат

Цель работы. На основании данных агроклиматических справочников и изучения таких погодных факторов, как выпадение осадков и распределение их по основным фазам вегетации возделываемых в данном хозяйстве ведущих культур, температурного режима, гидротермического коэффициента и так далее, прогнозируется величина урожая возделываемых в севообороте сельскохозяйственных культур на основе среднемноголетних данных.

Материалы и оборудование: калькуляторы, компьютеры, агроклиматические справочники по Ставропольскому краю, типичный для хозяйства севооборот.

Ход работы: реальная урожайность сельскохозяйственных культур зависит от влагообеспеченности. Условия увлажнения являются наиболее неустойчивой климатической характеристикой при выращивании сельскохозяйственных культур. В связи с этим, урожайность культур севооборота для почвенно-климатических зон Ставропольского края реальнее прогнозировать по влагообеспеченности:

$$U_c = \frac{W + (P \times 0,8)}{K_w},$$

где U_c – урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га; W – ресурсы продуктивной влаги перед посевом в 1,5 – 1,6 м слое почвы, мм; P – количество осадков, выпадающих за вегетацию культуры, мм; 0,8 – коэффициент активно используемых атмосферных осадков; K_w – коэффициент влагопотребления (расход влаги на 1 т сухого вещества), мм/т. K_w для ведущих культур приводится в приложении 1, W – приводится в приложении 2.

Поскольку ряд культур на Юге России возделывается в орошаемых условиях, формула расчета урожайности по влагообеспеченности приобретает следующий вид:

$$U_c = \frac{W + (P + B_{п}) \times 0,8}{K_w}, \text{ где}$$

$B_{п}$ – приход воды с оросительной нормой, мм.

От расчета урожайности абсолютно сухой органической массы переходим к расчету товарной части урожая:

$$y = \frac{100 \times U_c}{(100 - W) \times L}$$

где U_c – потенциальная урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га; y – урожайность культуры при стандартной влажности, т/га; W – стандартная влажность основной продукции в общей массе урожая. W – для ведущих культур приводится в приложении 2; L – сумма соотношений основной и побочной продукции (см. приложение 1).

Для выявления зависимости урожайности от погодных условий В.В. Агеевым математическому анализу подвергнуты многолетние урожайные, данные суммы осадков – за допосевной период, осенний период, от выхода в трубку до цветения и от цветения до уборки урожая, а также гидротермический коэффициент (ГТК) за эти периоды. Множественный корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности от переменных, обеспечивающих тесную корреляцию, позволил получить уравнения для прогноза урожайности зерна:

1. Уравнение регрессии для урожайности озимой пшеницы после занятого пара:

$$Y = 35,78 + 0,03X_2 + 0,15X_4$$

2. Уравнение регрессии для урожайности озимой пшеницы после чёрного пара:

$$Y = 34,62 + 0,26X_4 + 0,03X_5$$

3. Уравнение для прогноза урожайности после гороха:

$$Y = 20,21 + 0,15X_2 + 0,12X_4$$

4. Уравнение для прогноза урожайности после кукурузы на силос:

$$Y = 23,39 + 0,155X_2 + 0,106X_4$$

5. Уравнение для прогноза урожайности озимой пшеницы после колосовых:

$$Y = 20,56 + 0,62 X_2 + 0,25 X_4$$

где Y - урожайность, ц/га;

X_2 – осадки за допосевной период, мм;

X_4 – осадки за осенний период, мм;

X_5 – осадки за межфазный период весеннее кущение – колошение, мм.

6. Уравнение регрессии для прогноза урожайности озимого ячменя после колосовых:

$$Y = - 0,40X_1 + 2,46X_2 + 2,60X_4 - 3,35X_5 - 58,35$$

где Y - урожайность, ц/га;

X_1 – осадки за допосевной период, мм;

X_2 – осадки за осенний период, мм;

X_4 – осадки за межфазный период кущение-колошение, мм;

X_5 – осадки за межфазный период колошение-полная спелость, мм.

7. Уравнение регрессии для прогноза урожайности гороха:

$$Y = 12,45 + 0,08X_2 - 0,07X_3 + 2,4X_{10},$$

где Y – урожайность гороха, ц/га;

X_2 – осадки за допосевной период, мм;
 X_3 – осадки от посева до цветения, мм;
 X_{10} – ГТК от цветения до уборки урожая.

8. Уравнение для прогноза урожайности горохо-овсяной смеси:

$$Y = - 33 + 0,61 X_1 + 1,25 X_3,$$

где Y – урожайность, ц/га;

X_1 – осадки от уборки предшественника до уборки урожая, мм;

X_3 – осадки от посева до уборки горохо-овсяной смеси, мм;

X_4 – осадки за осенний период, мм.

9. Уравнение для прогноза урожайности маслосемян подсолнечника:

$$Y = 33,01 + 0,08 X_3 - 0,05 X_5 - 18,8 X_7 + 3,3 X_{10},$$

где Y – урожайность маслосемян подсолнечника, ц/га;

X_3 – осадки от посева до уборки, мм;

X_5 – осадки от цветения до уборки урожая, мм;

X_7 – ГТК за допосевной период;

X_{10} – ГТК от цветения до уборки урожая подсолнечника.

10. Уравнение для прогноза урожайности кукурузы на силос:

$$Y = 128,3 + 0,412 X_1 + 76,93 X_7$$

где Y – урожайность зеленой массы, ц/га;

X_1 - осадки от уборки предшественника до уборки кукурузы;

X_7 - ГТК за допосевной период.

11. Уравнение регрессии для прогноза урожайности маслосемян ярового рапса после колосовых:

$$Y = 13,53 - 0,03 X_2 + 0,04 X_4$$

где Y – урожайность маслосемян ярового рапса, ц/га;

X_2 - осадки от посева до начала цветения, мм;

X_4 – осадки от конца цветения до полной спелости, мм.

Среднемноголетние агроклиматические показатели, стандартная влажность основной продукции, соотношение основной и побочной

продукции, коэффициент водопотребления приведены в приложениях 1,3,5. Примерные сроки посева и уборки приводятся в приложении 4.

2. Расчет возможной урожайности по тепловым ресурсам (2 часа)

Тепло приходящее на посевы сельскохозяйственных растений понимается как фото синтетическая активная радиация и является одним из главных внешних факторов питания и существования растений. В условиях Юга России тепло, за редким исключением, не является лимитирующим фактором формирования урожайности сельскохозяйственных культур, но дает возможность определиться с максимально возможными урожаями и при устранении лимитирующих факторов, например, влагообеспеченность, кислотность, щелочность почвы и т.п., резко повысить урожайность, что и наблюдается

Цель работы. Научиться рассчитывать максимально возможную урожайность сельскохозяйственных культур по приходу фотосинтетической активной радиации.

Расчет урожайности по приходу фотосинтетической активной радиации вычисляется по формуле:

$$У_c = 10^9 \cdot Q \cdot K_Q : 100 \cdot q,$$

где $У_c$ – урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га;

Q – количество приходящей ФАР за период вегетации, кДж/га;

q – удельное количество энергии, аккумулируемой единицей сухого вещества ($q = 20 \cdot 10^6$ кДж/т);

K_Q – коэффициент использования ФАР посевом ($K_Q = 1 - 3$ %, теоретически и в условиях непрерывного использования пашни возможно 5 – 10 %). На разных географических широтах приход ФАР (млрд. кДж/га) составляет: 30 – 40° - 20 – 13,6; 40 - 50 - 13,5 – 9; 50 - 60° - 10,7 – 7,5; 60 - 70° - 9 – 5.

От расчета урожайности абсолютно сухой органической массы переходим к расчету товарной части урожая:

$$У = 100 \times У_c : (100 - W) \cdot L = 100 \cdot Q \cdot K_Q : 100 \cdot g \cdot (100 - W) \cdot L \\ = 100 \cdot 12,2 \cdot 10^9 \cdot 9,5 : [100 \cdot 20 \cdot 10^6 \cdot (100 - 14) \cdot 1,5] = 81,3 \text{ т/га.}$$

Для расчета урожайности товарной продукции всех сельскохозяйственных культур используют соотношение:

$$Y = 100 \cdot Y_c : (100 - W) \cdot L = 100 \cdot Q \cdot K_Q : [(100 \cdot g \cdot (100 - W) \cdot L)].$$

3. Расчет возможных урожаев по величине биоклиматического потенциала (2 часа)

Климатические данные необходимо использовать для решения задач программирования урожаев сельскохозяйственных культур и внесения корректив в технологии их возделывания.

Цель работы. С помощью показателей биоклиматического потенциала обосновать продуктивность посевов. Прогнозировать условия вегетационного периода культур по лимитирующему и оптимальному фактору формирования урожайности не всегда корректно, поскольку только одновременное взаимодействие множества факторов позволяет достаточно объективно оценить уровень возможной продуктивности растений. Таким интегрированным показателям может служить биоклиматический потенциал.

Ход работы. В предположении, что основным лимитирующим фактором являются тепловые ресурсы, действительно возможный урожай может быть определен по формуле:

$$Y = \beta \times \text{БКП}$$

где: Y – урожай в кормовых единицах (ц/га);

БКП – биоклиматический потенциал продуктивности;

$$\text{БКП} = [\sum t^{\circ} \geq 10^{\circ}] : 1000$$

где β – коэффициент, определяемый опытным путем и зависящий от культуры земледелия и фактического коэффициента использования ФАР посевом.

Величина БКП представляет собой сумму температур выше 10° за вегетационный период, деленную на 1000. (Например, если указанная сумма составит 2200° , то БКП = 2,2).

Ориентировочные значения коэффициента β приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Ориентировочные значения коэффициента β в зависимости от K_Q

K_Q	1,0	2,0	3,0
β	10	20	30

Приведем пример расчета действительно возможного урожая по БКП:

$\Sigma t^0 > 10^0$ составляет 2400^0 . Потенциально могут аккумулировать около 2,5% солнечной энергии. При этом в соответствии с формулой получим, что урожай, обеспечиваемый имеющимся количеством тепла, может достигать величины $Y = 25 \times 2,4 = 60$ ц/га. Проведя расчеты действительно возможных урожаев в зависимости от величины K_Q , β выберите среди них наименьшую цифру, которая и будет представлять собой урожайность, теоретически достижимая в рассматриваемом районе на фоне действия характеризующих данный регион климатических факторов. Однако, такой урожай может быть получен лишь при высоком уровне плодородия.

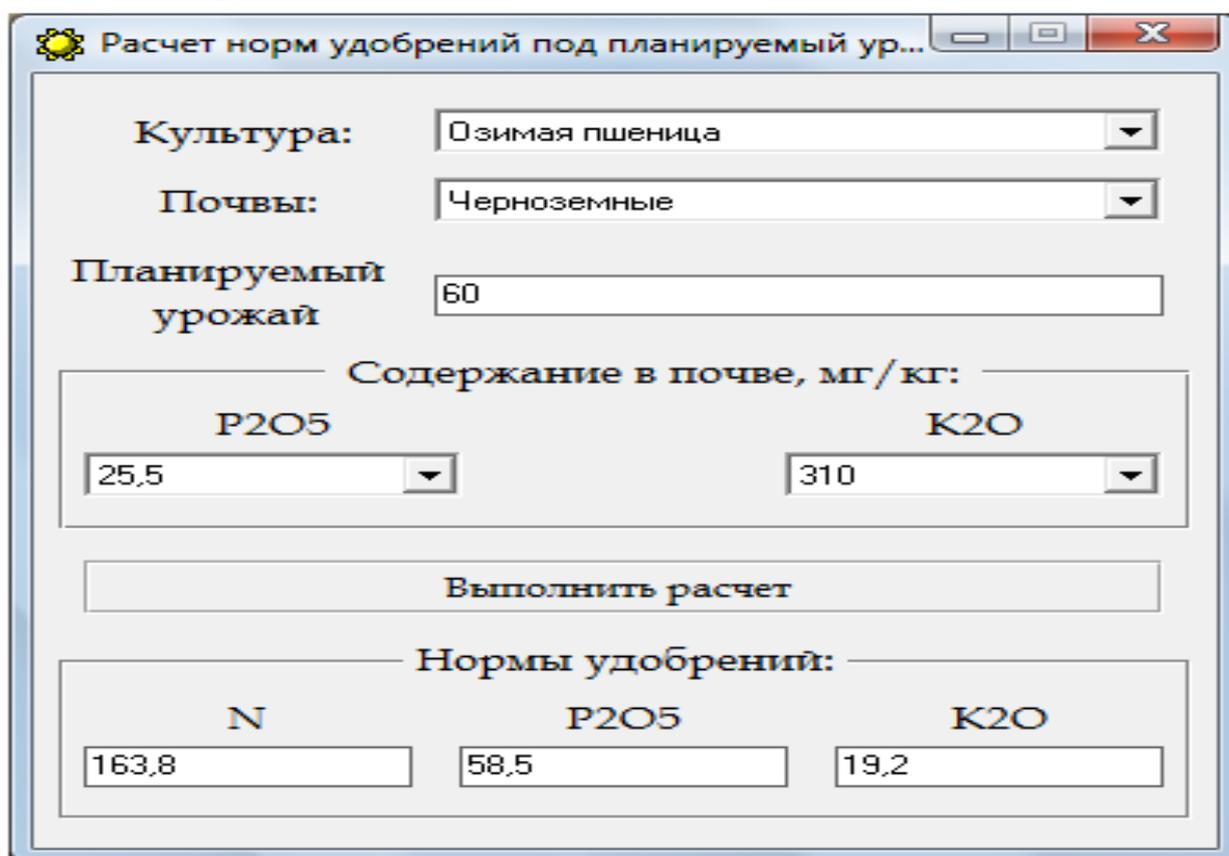
4. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы (4 часа)

Агрохимическая основа получения прогнозируемого урожая заключается в обеспечении оптимальных условий минерального питания растений. Это значит, что необходимо создать оптимальную концентрацию питательных веществ в почве в течение вегетации культур в целях достижения максимально возможной продуктивности.

К важнейшим условиям программирования и достижения заданного уровня урожайности относятся: расчет и обоснование оптимальных доз удобрений, удовлетворение потребностей растений в питательных веществах при сохранении и дальнейшем повышении эффективного плодородия почв.

Удобрения – это источник пищи для растений и основной путь расширенного воспроизводства плодородия почвы, материальная основа количества и качества урожая. Высококачественную продукцию, сбалансированную по содержанию ценных для человека органических веществ, можно получить только путем оптимального питания растений за счет применения удобрений. Коллективом кафедры агрохимии и

физиологии растений ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет разработана компьютерная программа «Расчет норм удобрений на планируемый уровень продуктивности сельскохозяйственных культур» («РНУНПУПСК»), которая предназначена для определения потребности в удобрениях на планируемый уровень возможной продуктивности сельскохозяйственных культур с учетом обеспеченности почв азотом, фосфором и калием, коэффициентов компенсации этих элементов за счет удобрений, а также доли эродированных почв. Программа может применяться в учебном процессе высших учебных заведений, на производстве предприятиями АПК и обеспечивает выполнение следующих функций: учебная; научно-исследовательская.



Содержание в почве, мг/кг:		
P2O5	K2O	
25,5	310	

Нормы удобрений:		
N	P2O5	K2O
163,8	58,5	19,2

Тип ЭВМ: IBM PC-совмест.ПК. Язык: Visual Basic, ОС: Windows XP, 98, 2000, Vista. Объем программы: 36 К(М) байт.

Цель работы: Рассчитать выносы элементов питания в конкретных почвенно-климатических условиях и получить на этом основании коэффициенты выноса, употребляемые для расчета норм удобрений под программируемый урожай.

Ход работы. Определение оптимальных норм удобрений под запланированную урожайность является сложным вопросом

современной агрохимической науки и практики. Все методы определения норм удобрений (а их около 60) сводятся в три группы: по непосредственным результатам полевых опытов, расчетно-балансовые методы, математические методы с применением ЭВМ.

В основу всех расчетных методов положены данные по выносу питательных веществ урожаями и коэффициенты использования элементов питания из почвы и удобрений, а также данные по окупаемости удобрений урожаем.

Приведенные сведения по нормам удобрений в настоящее время нуждаются в уточнении расчетными методами, исходя из почвенного плодородия, уровня планируемой урожайности и финансовых возможностей хозяйства. Получение программируемой урожайности достигается на основе удовлетворения потребности растений в элементах питания по выносу планируемым урожаем за счет использования почвенных запасов, а недостаток восполняется применением удобрений. Вынос питательных веществ рассчитывается путем перемножения коэффициентов выноса элементов питания с товарной и побочной продукцией (приложение б) на планируемую урожайность, найденную по влагообеспеченности посевов. Расчеты производятся для всех культур севооборота и приводятся в форме таблицы 2.

Таблица 2 - Вынос элементов питания планируемым урожаем сельскохозяйственных культур

№ поле й	Чередование культур в севообороте	Планируемая урожайность, ц/га	Вынос элементов питания, кг/га		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1.	Пар черный				
2.	Озимая пшеница				
3.	Сахарная свекла и т. д.				
4.					
5.					
6.					

В связи с выше изложенными методическими подходами расчет норм удобрений под планируемую урожай проводится по формуле, предложенной В.В. Агеевым:

$$N_y = (B_y - B_y \times K_n) : K_{ny} \cdot 100,$$

где N_y – норма P_2O_5 , K_2O , кг/га;

B_y – вынос P_2O_5 , K_2O с планиваемым урожаем, кг/га;

K_n – коэффициент использования P_2O_5 , K_2O из почвы от выноса с урожаем (приложение 7, 8);

K_{ny} – коэффициент использования питательных веществ из удобрений, % (приложение 9).

Нормы N удобрений рассчитываются по преобразованной формуле:

$$N_y = (B_y - (B_y \times K_n(\text{фосфора}) \times K)) : K_{ny} \times 100,$$

где K – вынос N с планиваемым урожаем : вынос P_2O_5 с планиваемым урожаем ($\frac{N}{P_2O_5}$).

5. Программирование урожайности полевых культур (4 часа)

Стабильному росту урожайности сельскохозяйственных культур, более эффективному использованию материальных, трудовых ресурсов и почвенно-климатических условий способствует применение интенсивных технологий, базирующихся на гармоническом удовлетворении потребности растений жизненно необходимыми и незаменимыми факторами внешней среды.

Цель работы. Перейти к широкому использованию в агрономии количественных моделей и электронно-вычислительной техники, позволяющей быстро обработать большую информацию о факторах, влияющих на рост растений, и наметить оптимальный вариант агротехнических мероприятий, направленных на получение запрограммированных урожаев.

Приборы, справочные материалы. При программировании урожайности сельскохозяйственных культур необходимо иметь соответствующие математические модели, надежные машинные программы для ЭВМ, заданные режимы технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Таблица 3 - Расчетная урожайность сельскохозяйственных культур, т/га

Показатели	Потенциальная урожайность (ПУ) по приходу ФАР	Действительно возможная урожайность (ДВУ) по: по влагообеспеченности	в урожайность производстве (УП)	Программируемая урожайность	Биологическая урожайность абсолютно сухой массы		
					Урожайность при стандартной влажности	Основной продукцией	Побочной продукцией

5.1 Определение потенциальной урожайности по приходу фотосинтетически активной радиации

При расчете потенциальной урожайности по приходу фотосинтетически активной радиации пользуются формулой А.А. Ничипоровича:

$$U_{\text{биол}} = \frac{\Sigma q_{\text{ФАР}} \times K}{g \times 10^5}$$

где $U_{\text{биол}}$ – биологическая урожайность абсолютно сухой растительной массы, т/га;

$\Sigma Q_{\text{ФАР}}$ – количество приходящей ФАР за период вегетации культуры в заданной зоне, млрд.ккал/га (приложение 10);

K – запланированный коэффициент использования ФАР, %; (4,5-5%);

g – количество энергии, выделяемое при сжигании 1 кг сухого вещества биомассы, ккал/кг; (4000 ккал энергии);

10^5 – для перевода в т.

5.2. Определение действительно возможной урожайности (ДВУ) по влагообеспеченности по Агееву В.В., Подколзину А.И. (2001)

Уровень урожаев и намеченный комплекс агротехнических мероприятий для их достижения в значительной мере зависят от влагообеспеченности посевов и использования ими влаги в течение вегетационного периода.

Действительно возможную урожайность определяют по формуле:

$$ДВУ = \frac{10 (W + P)}{K_B}$$

где ДВУ – действительно возможная урожайность, т/га;

W – запас продуктивной влаги в 1,5 – 1,6м слое почвы перед посевом яровых культур или возобновление вегетации озимых, мм;

P – сумма осадков за вегетационный период культуры, мм;

K_b – коэффициент водопотребления, м³/т.

Среднюю урожайность культуры в производстве (СП) определяют за 3-5 лет, используя статистические данные годовых отчетов хозяйства.

Расчет программируемой урожайности полевых культур

5.3. Озимая пшеница, озимый ячмень

Для выявления зависимости урожайности от полевых условий математическому анализу подвергнуты многолетние урожайные данные в связи с внешними факторами формирования продуктивности

1. Уравнение регрессии для прогноза урожайности озимой пшеницы после занятого пара:

$$Y = 35,87 + 0,03X_2 + 0,15X_4$$

2. Уравнение регрессии для прогноза урожайности озимой пшеницы после черного пара:

$$Y = 34,62 + 0,26X_4 + 0,03X_5$$

3. Уравнение для прогноза урожайности после гороха:

$$Y = 28,56 + 0,15 X_2 + 0,12X_4$$

4. Уравнение прогноза урожайности озимой пшеницы после кукурузы на силос:

$$Y = 23,39 + 0,155X_2 + 0,106X_4$$

5. Уравнение для прогноза урожайности озимой пшеницы после колосовых:

$$Y = 20,56 + 0,62X_2 + 0,25X_4$$

где Y – урожайность, ц/га;

X_1 - осадки за допосевной период, мм;

X_2 – осадки за осенний период, мм;

X_4 – осадки за межфазный период кущение-колошение, мм;

X_5 - осадки за межфазный период колошение – полная спелость, мм;

5.4. Зернобобовые культуры

1. Уравнение регрессии для прогноза урожайности гороха:

$$Y = 12,45 + 0,08X_2 - 0,07X_3 + 2,4X_{10}$$

где Y – урожайность гороха, ц/га;

X_2 – осадки за допосевной период, мм;

X_3 – осадки от посева до цветения, мм

X_{10} – ГТК от цветения до уборки урожая;

1. Уравнение регрессии для прогноза урожайности горохо-овсяной смеси:

$$Y = -33 + 0,61X_1 + 1,25X_3$$

где Y – урожайность, ц/га;

X_1 – осадки от уборки предшественника до уборки урожая, мм;

X_3 – осадки от посева до уборки горохо-овсяной смеси, мм;

5.5. Кукуруза

Уравнение регрессии для прогноза урожая зеленой массы кукурузы:

$$Y = 128,3 + 0,412X_1 + 76,93X_7$$

где Y – урожайность зеленой массы, ц/га;

X_1 – осадки от уборки предшественника до уборки кукурузы, мм;

X_7 – ГТК за допосевной период;

5.6. Подсолнечник

Уравнение регрессии для прогноза урожайности маслосемян подсолнечника:

$$Y = 33,01 + 0,08X_3 - 0,05X_5 - 18,8X_7 + 3,3X_{10}$$

где Y – урожайность маслосемян подсолнечника, ц/га;

X_3 – осадки от посева до уборки, мм;

X_5 – осадки от цветения до уборки урожая, мм;

X_7 – ГТК за допосевной период;

X_{10} – ГТК от цветения до уборки урожая подсолнечника.

5.7. Яровой рапс

Уравнение регрессии для прогноза урожайности маслосемян ярового рапса после колосовых:

$$Y = 13,53 - 0,03X_2 + 0,04X_4$$

где Y – урожайность маслосемян ярового рапса, ц/га;

X_2 – осадки от посева до начала цветения, мм;

X_4 – осадки от конца цветения до полной спелости, мм;

5.8. Сахарная свекла и другие сельскохозяйственные культуры

Уравнение регрессии для прогноза урожайности корнеплодов сахарной свеклы:

$$Y_c = \frac{W + (P \times 0,8)}{K},$$

где Y_c – урожайность абсолютно сухой биомассы, т/га;

W – ресурсы продуктивной влаги в 1,5-1,6 м слое почвы, мм;

P – сумма осадков за вегетационный период, мм;

0,8 – коэффициент активно используемых атмосферных осадков;

К – коэффициент водопотребления (расход влаги на 1т сухого вещества), мм.

6. Программирование урожая на основе математико-статистических методов (4 часа)

На современном этапе развития общества во всех отраслях и сферах, связанных с агропромышленным комплексом, широко применяются программы, которые основаны на экономико-математических методах. ЭММ предлагают построение соответствующих моделей (урожая, продуктивности, продукционного процесса фотосинтеза, минерального питания и др.) с последующей реализацией их на ЭВМ.

Цель работы. Студент должен на основе соответствующих экспериментальных данных определить оптимальный вариант, применение которого обеспечит получение программируемой урожайности различных культур. При помощи обработки данных на ЭВМ, раскрыть закономерности формирования урожайности сельскохозяйственных культур при различных условиях произрастания, выявить роль отдельных факторов и их сочетаний при программировании урожаев, а также определить возможную урожайность различных культур в данной почвенно-климатической зоне.

Материалы и оборудование. Калькуляторы, ЭВМ, элементы структуры формирования урожая различных культур, данные урожайности сельскохозяйственных культур в хозяйстве или районе за последние 8-10 лет.

Ход работы. Абсолютное большинство действующих агроприемов с достаточной точностью может быть описано в рамках линейных программ. При использовании регрессионного анализа проводятся исследования влияния различных факторов на урожайность культуры. Урожайность в этом случае рассматривается как искомая регрессивная зависимость от нескольких переменных (факторов):

$$Y = B(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Общий вид уравнения регрессии, которое может рассматриваться как математическая модель урожайности, представлен формулой:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n,$$

где Y – урожайность, ц/га;

B_0 – свободный член уравнения, ц/га;

$B_1; B_2; B_n$; - коэффициенты регрессии, соответствующие независимым переменным (факторам урожая), X_1, X_2, X_n , ц/га.

Данные опыта, структуры урожая различных культур вводятся в матрицу (табл. 4) и в компьютер. В результате решения задачи, построенной по данным этого опыта, будет получено уравнение для прогноза урожайности культуры в зависимости от изучаемых факторов.

Норматив урожайности основной и побочной продукции по культурам необходимо определять по каждому полю севооборота, исходя из фактически достигнутого уровня урожайности за полную ротацию севооборота и среднегодового прироста за тот же срок. Кроме того необходимо учитывать технологию производства, а также качество семенного материала, обеспеченность подразделения удобрениями, гербицидами и другими производственными ресурсами.

Таблица 4 - Матрица данных для вычисления корреляции и регрессии

Вариант	Элементы структуры урожая					Урожайность, У
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
1.						
2.						
3.						
4.						
и т.д.						

Для определения тенденций изменения урожайности по культурам и полям севооборота можно использовать статистико-экономический метод аналитического выравнивания динамического ряда по прямой:

$$Y = a + vx,$$

где Y – изменение урожайности, ц/га

a – исходный уровень урожайности, ц;

v – среднегодовой прирост урожайности, ц;

x – порядковый номер года.

Параметры прямой определяют по формулам:

$$a = \frac{\sum y \cdot \sum x^2 - \sum xy \cdot \sum x}{\sum x^2 - \sum x^2}$$

$$K \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2$$

$$b = \frac{K \cdot \Sigma xy - \Sigma y \cdot \Sigma x}{K \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

K- количество лет

Для примера рассмотрим проектирование урожайности озимой пшеницы на 2002 год в девятипольном севообороте (табл. 5):

Таблица 5 - Расчет необходимых параметров «а» и «в» для озимой пшеницы

Годы	Порядок нумерации года, X	Фактическая урожайность, с 1 ц /га, Y	Выравнивание величины		Выравненность урожайности с 1 га. ц, Y
			X Y	X ²	
1993	1	19,1	19,1	1	15,953
1994	2	21,1	42,2	4	18,448
1995	3	14,3	42,9	9	20,943
1996	4	26,0	104,0	16	23,438
1997	5	21,2	106,0	25	25,933
1998	6	27,6	165,6	36	28,426
1999	7	31,4	219,8	49	30,923
2000	8	37,2	297,6	64	33,418
2001	9	35,5	319,5	81	35,913
Суммы	$\Sigma x = 45$	$\Sigma y = 233,4$	$\Sigma xy = 1316,7$	$\Sigma x^2 = 285$	$\Sigma y = 233,397$

Примечание: последняя графа таблицы заполняется после определения параметров «а» и «в».

Определяем исходный уровень урожайности:

$$a = \frac{233,4 \cdot 285 - 1316,7 \cdot 45}{9 \cdot 285 - 45 \cdot 45} = 13,458$$

Определяем среднегодовой прирост (или снижение) урожайности:

$$x = \frac{9 \cdot 1316,7 - 233,4 \cdot 45}{9 \cdot 285 - 45 \cdot 45} = 2,495$$

Для проверки правильности расчетов определяем выровненную урожайность по формуле (1).

$$Y(1993) = 13,458 + 2,495 \cdot 1 = 15,953$$

$$Y(1994) = 13,458 + 2,495 \cdot 2 = 18,448 \text{ и т.д.}$$

Если расчет проведен правильно, то сумма фактической урожайности равна сумме выровненной с учетом округления.

Расчетная урожайность на 2002 год составит:

$$Y(2002) = 13,458 + 2,495 \times 10 = 38,41 \text{ ц/га}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»

1. Основные задачи программирования урожаев сельскохозяйственных культур.
2. История развития науки «Программирование урожаев».
3. Предпосылки для создания программирования урожаев сельскохозяйственных культур.
4. Принципы программирования урожаев культур.
5. Планирование, прогнозирование и программирование урожаев сельскохозяйственных культур.
6. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур.
7. Уровень урожайности при программировании.
8. Основы программирования урожаев.
9. Комплекс метеорологических факторов, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур.
10. Вероятность неблагоприятных явлений в районах интенсивного земледелия и учет их при программировании урожая.
11. Фотосинтетически активная радиация (ФАР), её роль в формировании урожая.
12. Методы расчета и обеспеченность ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей.
13. Определение урожайности по фотосинтетическому потенциалу листьев.
14. Использование прогнозов погоды для программирования урожаев и корректировки программы в процессе её осуществления.
15. Моделирование плодородия почвы.
16. Определение понятия плодородия почвы и количественная оценка уровня почвенного плодородия.
17. Оценка плодородия при использовании шкалы бонитировки почв.
18. Моделирование содержания гумуса в почве.

19. Моделирование содержания подвижных питательных веществ в почве.
20. Агротехнические условия получения планируемой урожайности.
21. Технологические основы программирования урожаев.
22. Организационно-технические мероприятия, способствующие получению программируемой урожайности.
23. Определение возможных урожаев по влагообеспеченности посевов.
24. Определение возможных урожаев по тепловым ресурсам.
25. Расчет возможных урожаев по величине биоклиматического потенциала.
26. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы.
27. Прогнозирование урожайности по агрохимическим показателям почвы.
28. Программирование урожайности полевых культур.
29. Расчет программируемой урожайности полевых культур.
30. Программирование урожаев на основе математико-статистических методов.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ С ОЦЕНКОЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ УРОЖАЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР»

1. Программирование урожаев – предмет, методы ее исследований, краткая история развития.
2. Программирование урожаев как метод комплексного подхода в реализации достижений сельскохозяйственных наук для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.
3. Учет основных законов земледелия и растениеводства при программировании урожаев.
4. Содержание понятий планирования, прогнозирования и программирование урожая.
5. Программирование урожайности ведущих в зоне сельскохозяйственных культур в системе севообороте и общей продуктивности севооборота.
6. Программирование урожаев озимой пшеницы
7. Программирование урожаев озимого ячменя
8. Программирование урожаев ярового ячменя
9. Программирование урожаев овса
10. Программирование урожаев кукурузы на зерно
11. Программирование урожаев кукурузы на силос
12. Программирование урожаев проса
13. Программирование урожаев гречихи
14. Программирование урожаев сорго
15. Программирование урожаев гороха
16. Программирование урожаев горохо – овсяной смеси
17. Программирование урожаев сахарной свеклы
18. Программирование урожаев картофеля
19. Программирование урожаев подсолнечника
20. Программирование урожаев озимого рапса
21. Составление технологических карт индустриальной технологии сельскохозяйственных культур – организующая структура программирования их урожайности
22. Представление о теоретически возможном урожае, обеспечиваемом климатическими, почвенными и материально-

техническими ресурсами (мелиоративное воздействие, севооборот, сорта, удобрения, гербициды, ядохимикаты, техническая обеспеченность).

23. Понятие о потенциальной, действительно возможной и производственной урожайности.

24. Долгосрочные, текущие и оперативные задачи планирования.

25. Методы программирования урожая сельскохозяйственных культур.

26. Методы, основанные на использовании обобщенных агроклиматических (ресурсы света, тепла, влаги) и почвенных показателей.

27. Физиологические аспекты формирования программирования урожая сельскохозяйственных культур.

28. Пути создания высокопродуктивных посевов (фотосинтетический потенциал посева, его формирование, чистая продуктивность фотосинтеза, световой режим посева, КПД использования ФАР) для заданного уровня урожая.

29. Агрометеорологические, агрохимические, агрофизические, агротехнические основы программирования урожая на обычных и мелиорируемых землях различного плодородия.

30. Организация проведения комплексных исследований по программированию урожая.

31. Комплекс метеорологических факторов, определяющих состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур.

32. Фотосинтетическая активная радиация (ФАР), ее роль в формировании урожая.

33. Методы расчета и обеспеченность ФАР основных сельскохозяйственных культур с учетом зональных особенностей.

34. Температурный режим воздуха и почвы, оценка их влияния на величину и качество урожая сельскохозяйственных культур.

35. Ресурсы тепла и обеспеченности им основных сельскохозяйственных культур по природно-климатическим зонам.

36. Вероятность неблагоприятных явлений в районах интенсивного земледелия и учет их при программировании урожая.

37. Использование прогнозов погоды для программирования урожая и корректировки программы в процессе ее осуществления.

38. Агрехимические основы программирования урожаев.
39. Научно- обоснованная система применения удобрений – значение, задачи, принципы построения.
40. Выбор метода определения норм удобрений для программирования урожаев сельскохозяйственных культур.
41. Комплексные методы листовой и почвенной диагностики (программа коррекции). Зональные нормативы листовой и почвенной диагностики.
42. Разработка научно-обоснованных систем применения удобрений в севооборотах для получения программированных урожаев сельскохозяйственных культур.
43. Определение места и норм внесения органических удобрений в севооборотах.
44. Требования к балансу питательных элементов в севооборотах в зависимости от типа и плодородия почв.
45. Балансовые и другие методы расчета норм минеральных удобрений в севообороте при высокой и ограниченной обеспеченности посевов минеральными удобрениями.
46. Пути повышения эффективности удобрений при программировании урожаев (локальное и дробное внесение макроудобрений, применение микроудобрений и др.).
47. Использование карт засоренности полей севооборотов для разработки рациональной системы мероприятий по профилактике и борьбе с сорняками в посевах (агротехнические, химические и биологические методы).
48. Использование прогнозов службы защиты растений для разработки интегрированной системы мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур.
49. Комплексное и оптимальное применение удобрений и пестицидов – необходимое условие индустриальной технологии и охраны окружающей среды.
50. Фотосинтетическая деятельности и продуктивность посевов.
51. Использование показателей роста растений при программировании урожаев.

52. Учет формирования элементов продуктивности урожая на разных фазах (этапах) органогенеза, роста и развития растений. Использование полученной информации при уходе за посевами.

53. Роль сорта при программировании урожаяев.

54. Выбор сортов, соответствующих почвенно-климатическим условиям зоны, устойчивых к комплексу неблагоприятных условий (засухоустойчивость, холодоустойчивость, морозоустойчивость, устойчивость к болезням и вредителям, устойчивость к полеганию).

55. Выбор оптимальной густоты стояния растений в посевах с учетом полевой всхожести семян, выпада растений в течение вегетационного периода, способа посева, обеспечивающего аккумуляцию заданного уровня солнечной энергии, формирование хозяйственно полезной части урожая.

56. планирование мероприятий по уходу за посевами и корректировка их по результатам контроля фактического хода формирования урожая (боронование, культивации, подкормки, орошение и др.).

57. Использование агротехнических приемов в период вегетации, повышающих качество сельскохозяйственной продукции (внекорневые подкормки, ретарданты, десиканты, дефолианты).

58. Выбор оптимальных сроков и способов уборки как необходимое условие сохранения качества и предотвращения потерь урожая.

59. Оптимизация условий вводно-воздушного режима почвы при программировании урожаяев.

60. Определение необходимости орошения или осушения, основных параметров оптимизации водного и воздушного режимов почвы для разных уровней урожайности.

61. Определение оросительных и поливных норм для оптимизации водного режима почвы на получение запланированных урожаяев с учетом имеющихся ресурсов воды, применения удобрений и других факторов.

62. Составление прогностической, корректирующей и оперативно-текущей программ управления водным режимом почвы.

63. Особенности оптимизации и управления водным и воздушным режимами почвы на осушительно-увлажнительных системах.

64. Разработка оптимальной системы обработки почвы для получения программированного урожая (приемы по накоплению и сохранению влаги, созданию оптимальной плотности почвы).

65. Математико-статистические методы программирования (регрессионные модели количественных связей урожая с факторами, обеспечивающими его).

66. Динамические имитационные модели формирования урожая, использующие системы дифференциальных уравнений для комплексной оценки роста и развития растений, формирования урожая.

67. Методы, основанные на применении автоматизированной системы управления технологическими процессами в земледелии.

68. Математико-статистические методы программирования (регрессионные модели количественных связей урожая с факторами, обеспечивающими его)

69. Динамические имитационные модели формирования урожая.

70. Методы, основанные на применении автоматизированной системы управления технологическими процессами в земледелии.

71. Агроэкологические функции урожайности сельскохозяйственных культур

72. Экономико-математические модели формирования урожаяев

73. Моделирование динамики накопления биомассы и хозяйственно полезной продукции при программировании урожая

74. Индустриальные технологии – организационная форма реализации программирования урожая

75. Автоматизация разработки индустриальных технологий на ЭВМ

76. Автоматизированная система управления технологическими процессами в земледелии.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ (ГЛОССАРИЙ)

Агротехника – система приемов возделывания сельскохозяйственных культур.

Агрохимия – наука о минеральном питании и удобрении растений.

Аммонификация – разложение органических веществ до аммиака.

Аэрация почвы – интенсивный обмен воздуха между почвой и атмосферой.

Бактериальные удобрения – препараты, содержащие полезные для сельскохозяйственных растений почвенные микроорганизмы. При внесении в почву усиливают фиксацию азота, минерализацию органики и улучшают корневое питание растений.

Баланс питательного элемента – итоговое количественное выражение его круговорота за определенный промежуток времени в пределах конкретного объекта.

Буферность – способность почвы противостоять изменению реакции среды.

Вегетативные органы – части тела растительного организма, служащие для поддержания индивидуальной жизни растения – корень, стебель, лист.

Вегетационный период – время активной жизнедеятельности растений от начала сокодвижения и распускания почек до опадания листьев (у многолетних растений) или от всходов до окончания вегетации (у однолетних растений).

Ветровая эрозия – процесс разрушения ветром горных пород и почв.

Внекорневая подкормка – прием внесения удобрений, при котором растения получают питательные вещества через листья. Заключается в опрыскивании или опыливанием надземной части растений растворами минеральных удобрений, солей, микроудобрений для увеличения урожая и улучшения его качества.

Водный дефицит – состояние растения, при котором оно теряет воды больше, чем может получить, это приводит к увяданию.

Водный режим почвы – один из факторов плодородия почвы; совокупность процессов, определяющих передвижение, расход и использование растениями почвенной влаги.

Воздушный режим почвы – изменение содержания и состава почвенного воздуха в течение времени; один из факторов плодородия почвы.

Вспашка – прием основной обработки почвы, включающий одновременное крошение, рыхление и оборачивание пласта почвы отвальными плугами.

Всхожесть семян – процентное соотношение взошедших семян и общего количества посеянных (полевая всхожесть) или проращиваемых при определенных условиях (лабораторная всхожесть) семян.

Гербициды – химические вещества (пестициды), предназначенные для уничтожения нежелательной травянистой растительности (сорняков).

Гигроскопичность – способность поглощать влагу из воздуха.

Гипсование – химическая мелиорация с помощью гипса солонцовых почв.

Гумус – органическое вещество почвы, обуславливающее ее плодородие.

Денитрификация – процесс восстановления нитратов почвы до молекулярного азота, сопровождающийся потерей азота почвой.

Дернина – верхний слой почвы, густо пронизанный живыми и отмирающими корнями и корневищами растений.

Дискование почвы – рыхление поверхностного слоя почвы (до 14 см) с его частичным оборачиванием. Выполняется дисковыми почвообрабатывающими орудиями – дисковыми боронами, луцильниками.

Доза удобрения – его количество, вносимое под сельскохозяйственную культуру за один прием или за весь вегетационный период.

Жароустойчивость – способность растений сохранять жизнеспособность при перегреве почвы и воздуха.

Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) – водные растворы или суспензии, содержащие соединения азота и фосфора или азота, фосфора

и калия, иногда с добавками микроудобрений, пестицидов и стимуляторов роста растений.

Жизнеспособность семян – способность семян к прорастанию. Жизнеспособные семена могут иметь низкую всхожесть (например, сразу после уборки, что вызывается покоем семян).

Занятый пар – паровое поле, на котором в первой половине лета выращивают рано убираемые культуры, после которых проводят паровую обработку почвы.

Запасы продуктивной влаги – количество влаги в почве сверх влажности устойчивого увядания, используемое растениями для роста и развития.

Засуха – продолжительный недостаток осадков, чаще при повышенной температуре и пониженной влажности воздуха.

Засухоустойчивость растений – способность растений противостоять засухе. У культурных растений - способность переносить засуху с наименьшим снижением урожая.

Зеленое удобрение – зеленая масса растений (сидератов), запахиваемая в почву.

Зимостойкость – способность растений противостоять неблагоприятным зимним условиям (действие мороза, выпревание, влияние корки, колебание температур и т. п.) без значительных повреждений.

Зяблевая обработка почвы – летне-осенняя обработка почвы под посев яровых культур следующего года.

Известкование почвы – внесение в почву известковых удобрений для устранения повышенной кислотности и обогащения почвы кальцием.

Кислотность почвы – свойство почвы, обусловленное наличием водородных ионов в почвенном растворе и обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе.

Клубеньковые бактерии – род аэробных бактерий, поселяющихся в клубеньках на корнях бобовых растений и обладающих способностью усваивать атмосферный азот, обогащая им почву.

Комбинированные удобрения – содержат два и более элементов питания, получают их в едином технологическом процессе.

Комплексное удобрение – минеральное удобрение, содержащее

не менее двух главных питательных элементов, необходимых для нормального роста и развития.

Компост – органическое удобрение, полученное в результате разложения органических отходов растительного или животного происхождения.

Компостирование – биотермический процесс минерализации и гумификации обычно двух органических компонентов (иногда с добавками минеральных), уменьшающий потери питательных элементов одних с одновременным ускорением разложения других и переводом в доступное для растений формой питательных элементов.

Корневая система – совокупность корней растения.

Микроклимат – климат, сложившийся в небольшом районе или на отдельном участке.

Микроэлементы – химические элементы, содержащиеся в растениях в низких концентрациях (обычно тысячные доли процента и ниже) и необходимые для их нормальной жизнедеятельности.

Минеральные удобрения – промышленные или ископаемые продукты, содержащие элементы, необходимые для питания растений и повышения плодородия почв.

Минимальная обработка почвы – обработка почвы, обеспечивающая снижение энергетических затрат путем сокращения числа и глубины обработок, совмещения операций, уменьшением обрабатываемой поверхности поля, прямым посевом.

Многолетние растения – растения, зимующие более одного раза.

Морозоустойчивость – свойство зимующих растений выдерживать действие отрицательных температур с сохранением способности к вегетации и репродукции.

Мульча – слой рыхлого материала, например торфа, компоста или опилок, который раскладывают на поверхности почвы для сохранения влаги и предохранения от сорняков; в качестве мульчи также используют черную и светонепроницаемую пленку.

Мульчирование – покрытие почвы около растений различными покровными материалами; компостом, торфом, перегноем, опилками, бумагой для уменьшения испарения влаги почвой, изменения ее тепловых свойств борьбы с сорной растительностью, улучшения

химических и физических свойств почвы. Мульчирование способствует лучшему развитию растений и повышению урожайности.

Навоз – смесь жидких и твердых выделений различных животных с подстилкой (подстилочный) или без нее (безподстилочный).

Навозная жижа – перебродившая моча животных.

Набухание семян – поглощение семенами воды, сопровождающееся увеличением их объема.

Нитрификация – процесс превращения аммонийных солей в нитраты в процессе микробиологической деятельности.

Обработка почвы – механическое воздействие на почву рабочими органами почвообрабатывающих машин и орудий, способствующее созданию оптимальных условий для роста и развития растений.

Озимые культуры – однолетние сельскохозяйственные растения, нормально развивающиеся при осеннем посеве, дают урожай на следующий год.

Окультуривание почвы – улучшение неблагоприятных агрономических свойств почвы. Различают биологический, химический и физический способы окультуривания.

Окучивание – подсыпка почвы из междурядий к основанию растений.

Онтогенез – индивидуальное развитие растения от момента

Опрыскивание – распыление на поверхности растения или почвы растворов средств борьбы с вредителями, болезнями и сорняками или минеральных удобрений (солей) для внекорневой подкормки.

Органические удобрения - это разной степени разложения органические вещества растительного, животного, растительно-животного и промышленно-бытового происхождения.

Основное удобрение – внесение удобрений в почву до посева сельскохозяйственной культуры.

Перегной – однородная землистая масса, содержащая не более 25% массы и органического вещества свежего исходного навоза.

Период покоя – период от прекращения осенней вегетации многолетних, озимых или зимующих растений до возобновления вегетации (начала сокодвижения) весной, при котором в растении почти

полностью останавливаются ростовые процессы и снижается интенсивность обмена веществ.

Пестициды – химические вещества, используемые для борьбы с вредными организмами, повреждающими растения, вызывающими порчу сельскохозяйственной продукции, материалов, изделий, а также для борьбы с паразитами и переносчиками заболеваний человека и животных.

Пластичность – свойство растения, выражающееся в определенных границах требований к условиям среды, за которыми существование растения невозможно.

Плодородие почвы – способность почвы удовлетворять потребности растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла и благоприятной физико-химической средой для нормальной деятельности.

Плоскорезная обработка почвы – рыхление почвы без оборачивания с сохранением стерни на поверхности.

Площадь питания – участок почвы, приходящийся на одно растение.

Повторные посевы – посевы одной и той же культуры на той же площади 2 года или несколько лет подряд.

Подкормка – внесение удобрений дробными дозами в течение вегетационного периода в виде растворов или сухих удобрений. Подкормка может быть внесена или в почву или непосредственно на растение, тогда она называется внекорневой.

Послепосевная обработка почвы – совокупность приемов механического воздействия на почву в период от посева (посадки) до уборки возделываемой культуры.

Почва – сложная саморегулирующаяся поликомпонентная биокосная единая система, содержащая твердую, жидкую и газовую фазы.

Прикатывание почвы – агротехнический прием, включающий уплотнение и выравнивание поверхности поля, а также дробление глыб.

Припосевное удобрение – предназначено для улучшения питания молодых растений в начальный и критический периоды их роста.

Прореживание - удаление лишних растений в ряду для создания оптимальной плотности их размещения; выполняют сразу или вскоре после появления всходов, разложения навоза и органических остатков растительного или животного происхождения.

Простые минеральные удобрения – удобрения, которые содержат только один питательный элемент.

Птичий помет – ценное, наиболее концентрированное и быстродействующее местное удобрение.

Реакция почвы - соотношение концентрации ионов водорода и гидроксидов в почвенном растворе, выраженное через рН водной и солевой вытяжек из почвы (если рН ниже 7,0 - почвы кислые, если рН выше 7,0 - то щелочные).

Ретарданты – химические вещества, которые подавляют рост стеблей и побегов и придают растениям устойчивость к полеганию.

Сапропель – органические и минеральные отложения пресноводных озер и прудов.

Система удобрения – это основанное на знаниях свойств и взаимоотношений растений, почвы и удобрений, агрономически и экономически наиболее эффективное и экологически безопасное применение удобрений при любой обеспеченности с учетом конкретных климатических и экономических и условий.

Сложные удобрения – представляют собой одинарные соли, содержащие разные элементы питания, не содержат примесей.

Смешанные удобрения – удобрения, получаемые путем механического смешивания двух или более простых удобрений.

Сорняк – это дикорастущее растение, не возделываемое человеком и засоряющее сельскохозяйственные угодья.

Сорт – совокупность растений, созданная в результате селекции и обладающая рядом признаков, передающихся по наследству.

Структура почвы – соотношение гумусных и минеральных частиц различной крупности. Наиболее благоприятна для роста растений мелкокомковая почва (комочки диаметром до 12 мм). Она легко пропускает воздух, впитывает влагу, в ней создаются хорошие условия для развития корневой системы, она легко поддается обработке, рыхлению.

Тепловой режим почвы – изменение теплового состояния почвы во времени.

Транспирация – испарение воды растением.

Удобрения – органические и минеральные вещества, содержащие элементы питания растений.

Урожайность – количество продукции растениеводства с единицы посевной площади.

Фенологические наблюдения – наблюдения за сезонными явлениями и процессами в жизни растений и предсказание сроков их наступления.

Фенологические фазы – фазы развития растений, последовательная смена биологического развития растений в годичном цикле, выражающаяся как во внешних, так и во внутренних (физиологических) изменениях.

Фунгицид – химическое вещество для борьбы с грибными заболеваниями.

Хелаты – внутрикомплексные соединения органических веществ с металлами, в которых атом металла связан с 2 или большим числом атомов органического соединения.

Химический метод защиты растений – использование пестицидов для предотвращения развития и уничтожения вредителей, возбудителей болезней и сорняков.

Цветение – период раскрытия цветка, созревания пыльцы, возрастания восприимчивости рыльца пестика к пыльце, опыления цветка и оплодотворения яйцеклетки.

Черный пар – чистый пар, в котором обработка почвы проводится осенью.

Чистый пар – поле севооборота, свободное от посевов сельскохозяйственных культур в течение вегетационного периода и содержащееся в рыхлом и чистом от сорняков состоянии.

Эрозия – смыв и размыв почвы потоками воды ливневого характера, сильными дождевыми осадками. В районах с сильными ветрами наблюдается ветровая эрозия (черные бури), при которой верхний плодородный слой почвы уносится с незащищенных участков.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература:

1. ЭБ "Труды ученых СтГАУ": Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур [электронный полный текст] : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / Агеев В. В., Есаулко А. Н., Лобанкова О. Ю., Радченко В. И., Горбатко Л. С., Гречишкина Ю. И., Коростылев С. А., Сигида М. С., Фурсова А. Ю., Устименко Е. А, Воскобойников А. В., Громова Н. В., Голосной Е. В., Беловолова А. А. ; СтГАУ. - 5-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2014. - 1,02 МБ. - (Гр. УМО).

2. ЭБ «Труды ученых СтГАУ»: Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур [электронный полный текст] : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / В. Г. Агеев, А. Н. Есаулко, О. Ю. Лобанкова, В. И. Радченко, Л. С. Горбатко, Ю. И. Гречишкина, С. А. Коростылев, М. С. Сигида, Н. В. Громова, Е. В. Голосной, А. А. Беловолова ; СтГАУ. - 4-е изд., перераб. и доп. - Ставро-поль : АГРУС, 2011. - 1,04 МБ. - (Гр. УМО).

3. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / В. Г. Агеев [и др.] ; СтГАУ. - 5-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2014. - 200 с. - (Гр. УМО).

4. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. пособие для студентов вузов по направлению 110400 - Агрономия / В. Г. Агеев [и др.] ; СтГАУ. - 4-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2011. - 200 с. - (Гр. УМО).

б) дополнительная литература:

1. ЭБС «Znanium»: Журина Л. Л. Агрометеорология: Учебник / Л.Л. Журина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 384 с.

2. Практикум по агрохимии : Учеб.пособие для вузов / Под ред.В.Г.Минеева. - 2-е изд.,перераб.,доп. - М. : МГУ, 2001. - 689с.

3. Агеев, В. В. Агрохимия (Южно-Российский аспект) : учебник для студентов вузов по агр. специальностям. Т. 1 : Питание растений. Свойства почвы в связи с питанием растений и применением удобрений

/ под ред. В. В. Агеева. - Ставрополь : СтГАУ, 2005. - 488 с. : ил. - (Гр. МСХ РФ).

4. Агеев, В. В. Агрохимия (Южно-Российский аспект) : учебник для студентов вузов по агр. специальностям. Т. 2 : Удобрения. Системы удобрения. Экология / под ред. В. В. Агеева. - Ставрополь : СтГАУ, 2006. - 480 с. : ил. - (Гр. МСХ РФ).

5. Лабораторный практикум по агрохимии для агрономических специальностей : учеб. пособие / А. Н. Есаулко [и др.] ; СтГАУ. - 3-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : АГРУС, 2010. - 276 с. - (Гр. МСХ РФ).

6. Особенности питания и удобрение сельскохозяйственных культур на юге России : учеб. пособие для студентов вузов агр. специальностей / под ред. В. В. Агеева. - Ставрополь : ГСХА, 1999. - 113 с.

7. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур : учеб. пособие для студентов вузов по агр. специальностям / В. В. Агеев [и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - Ставрополь : СтГАУ, 2008. - 168с. - (Гр. УМО).

8. Агрохимия (периодическое издание).

9. Агрохимический вестник (периодическое издание).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1 – Исходные данные для расчета программируемой урожайности сельскохозяйственных культур по влагообеспеченности

Культура		Коэффициент водопотребления, мм/т	Стандартная влажность основной продукции, %	Соотношение основной и побочной продукции
Озимая пшеница		40,0 – 50,0	14	1:1,5
Озимая рожь		34,0 – 42,0	14	1:2
Озимый ячмень		44,0 – 50,0	14	1:1,5
Яровая пшеница		40,0 – 41,5	14	1:1
Яровой ячмень		40,0	14	1:1
Овес		47,4	14	1:1,3
Кукуруза на зерно		40,6	15	1:2,0
Кукуруза на силос		30 - 40	70	-
Просо		20,0 – 25,0	13	1:1,1
Сорго		20,0	14	1:2
Рис		50,0 – 80,0	15	1:1,5
Гречиха		50,0 – 60,0	14	1:1,2
Горох		45,0-50,0	16	1:1,3
Соя		60,0-80,0	12	1:1,3
Сахарная свекла		24,0 – 40,0	80	1:0,8
Картофель		40,0 – 55,0	80	1:1
Люцерна	Сено	40,0 – 50,0	14 – 16	-
	Зеленая масса		70 - 75	-
Эспарцет	Сено	30,0 – 40,0	14 – 16	-
	Зеленая масса		70 - 75	-
Подсолнечник		45,0 – 57,0	9	1:5
Горчица		50,0 – 52,0	9	1:4
Рапс		40,0 - 450	9	1:3
Хлопчатник		50,0 – 60,0	12	1:7
Лен		40,0 - 43,0	13	1:5

Приложение 2 - Запасы продуктивной влаги (мм) в 1,5 метровом слое почвы (мм)

Зона, район	Преобладающий тип (подтип)почвы	Перед посевом культур		
		озимых	ранних яровых	поздних яровых
1				
Апанасенковский	Каштановые	110	160	136
Арзгирский	Каштановые	78	146	124
Левокумский	Светло-каштановые	68	130	118
Нефтекумский	Светло-каштановые	60	120	110
Туркменский	Каштановые солонцеватые	76	150	
2				
Александровский	Чернозем южный	82	165	130
Благодарненский	Каштановые	72	150	
Буденовский	Каштановые	74	145	120
Ипатовский	Темно-каштановые	77	175	148
Курский	Темно-каштановые	84	180	152
Новоселецкий	Темно-каштановые	96	170	142
Петровский	Темно-каштановые	94	154	134
Советский	Темно-каштановые	110	176	150
Степновский	Темно-каштановые	90	168	140
3				
Изобильненский	Чернозем обыкновенный	128	240	220
Грачевский	Чернозем обыкновенный	180	260	218
Кочубеевский	Чернозем обыкновенный	210	282	236
Красногвардейский	Чернозем южный	165	250	210
Андроповский	Черноземы солонцеватые	75	165	184
Новоалександровский	Чернозем обыкновенный	170	275	244
Труновский	Чернозем обыкновенный	160	270	232
Шпаковский	Чернозем обыкновенный	140	264	226
4				
Георгиевский	Чернозем южный	142	210	180
Минераловодский	Чернозем солонцеватый	146	220	186
Кировский	Чернозем южный	134	204	178
Предгорный	Чернозем выщелоченный	152	228	198

Приложение 3 - Месячное и годовое количество осадков (мм)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-X	XI-III	Год
Александровское	25,0	24,8	31,0	44,0	58,7	78,5	54,0	64,2	39,3	37,9	33,3	33,5	376,6	147,6	524,2
Арзгир	20,9	17,4	18,5	27,9	37,1	61,9	42,5	44,0	27,2	25,5	25,0	22,8	266,1	104,6	370,7
Благодарный	22,9	19,6	23,1	32,3	48,7	69,4	45,8	51,6	32,8	29,5	32,7	30,0	310,1	128,3	438,4
Буденновск	21,1	19,6	22,4	35,6	47,9	61,8	40,4	45,4	29,2	23,6	27,6	28,8	283,9	119,5	403,4
Георгиевск	22,8	24,4	30,2	49,0	61,6	90,0	59,6	56,3	37,6	35,2	33,0	29,2	389,3	139,6	528,9
Дивное	33,0	23,6	25,2	35,3	44,4	63,5	47,0	42,5	28,3	32,7	36,4	36,0	293,7	154,2	447,9
Зеленокумск	20,1	21,0	26,2	40,3	53,6	80,0	47,7	51,8	31,6	28,7	31,2	29,8	333,7	128,3	462,0
Изобильный	33,0	31,6	34,6	51,4	64,4	85,0	53,0	54,5	38,1	42,6	44,0	43,0	389,0	186,2	575,2
Кисловодск	15,6	16,4	26,0	58,5	95,9	116,7	97,5	81,9	53,6	33,4	23,6	22,0	537,5	103,6	641,1
Красногвардейское	37,0	28,8	31,9	43,8	57,5	62,0	57,8	51,9	35,4	37,3	45,8	47,3	345,7	190,8	536,5
Минеральные Воды	17,4	17,1	27,3	52,2	65,3	78,9	65,1	48,8	33,9	30,5	26,7	28,6	374,7	117,1	491,8
Невинномысск	24,1	21,3	30,5	53,0	68,8	95,2	60,5	74,4	44,4	38,1	36,5	32,5	434,4	144,9	579,3
Новоалександровск	43,9	33,1	37,2	52,5	68,7	75,7	56,3	49,9	44,3	45,1	52,0	50,9	392,5	217,1	609,6
Рощино	19,5	18,5	19,8	29,6	39,4	58,6	43,7	41,1	24,4	21,0	29,0	28,4	257,8	115,2	373,0
Светлоград	25,8	21,5	22,7	41,4	65,7	77,0	54,7	53,0	31,9	35,1	39,7	38,0	358,8	147,7	506,5
Ставрополь	28,4	24,7	30,4	46,6	63,1	86,1	54,5	52,7	42,0	43,6	41,1	37,8	388,6	162,4	551,0

**Приложение 4 - Примерные сроки посева и уборки
сельскохозяйственных культур по зонам Ставропольского края**

Культура	Сев	Полная спелость
Озимая пшеница	15.09 – 5.10	1.07 – 15.07
Озимая рожь	15.09 – 25.09	15.07 – 25.07
Озимый ячмень	15.09 – 25.09	25.06 – 10.07
Яровая пшеница	15.03 – 30.03	18.06 – 25.07
Яровой ячмень	15.03 – 30.03	10.06 – 15.07
Овес	15.03 – 30.03	15.06 – 22.07
Кукуруза на зерно	15.04 – 30.04	20.09 – 10.10
Кукуруза на силос	15.04 – 30.04	25.07 – 10.08
Просо	20.04 – 30.04	10.07 – 20.07
Сорго	1.05 – 10.05	15.09 – 5.10
Рис	1.05 – 10.05	1.10 – 30.10
Гречиха	20.04 – 30.04	15.07 – 25.07
Горох	10.03 – 20.03	15.07 – 25.07
Соя	1.05 – 10.05	15.09 - 15.10
Сахарная свекла	1.04 – 10.04	1.10 – 30.10
Картофель	1.04 – 10.04	15.08 – 15.09
Люцерна	1.08 – 15.08	15.05 – 20-25.05
Эспарцет	1.08 – 15.08	22.06 – 10.07
Люцерна на семена	1.08 – 15.08	25.07 – 15.08
Горох+овес на з/к	15.03 – 30.03	25.05 – 10.06
Подсолнечник	20.04 – 30.04	20.08 – 15.10
Горчица	15.03 – 30.03	1.07 – 10.07
Озимый рапс на зеленый корм	20.08 – 30.08	25.04 – 5.05
Яровой рапс на семена	1.04 – 10.04	10.07 – 15.07
Хлопчатник	1.05 – 10.05	5.10 – 20.10
Лен	1.05 – 10.05	20.07 – 30.07

Приложение 5 - Средняя месячная и годовая температура воздуха (°С)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-X	XI-III	Год
Александровское	-3,6	-3,2	1,8	10,1	15,8	19,4	22,5	21,3	16,1	9,4	3,5	-0,7	16,4	-0,4	9,4
Арзгир	-3,7	-3,2	2,2	11,0	17,3	21,9	24,7	23,4	17,8	10,3	3,7	-0,5	18,1	-0,3	10,4
Благодарный	-3,8	-3,2	2,0	10,5	16,4	20,5	23,9	22,5	17,1	9,8	3,7	-0,8	17,2	-0,4	9,9
Буденновск	-3,6	-3,0	2,6	10,9	17,0	21,7	24,6	23,4	17,8	10,5	4,0	-0,9	18,0	-0,2	10,4
Георгиевск	-3,2	-2,7	2,3	10,4	15,7	19,9	22,7	21,8	16,6	9,6	3,8	-0,8	16,7	-0,1	9,7
Дивное	-3,9	-3,3	2,2	11,1	17,2	21,8	24,6	23,2	17,5	10,1	3,7	-0,8	17,9	-0,4	10,3
Зеленокумск	-3,1	-2,4	2,8	11,1	16,8	21,2	24,1	23,0	17,7	10,3	4,3	-0,5	17,5	0,2	10,1
Изобильный	-2,5	-1,0	3,4	11,6	16,8	20,4	23,1	22,1	17,1	10,6	5,5	1,3	17,4	1,3	10,7
Кисловодск	-2,8	-2,3	1,5	8,2	12,6	15,9	18,4	17,8	13,6	8,2	3,3	-0,6	13,5	-0,2	7,8
Красногвардейское	-3,1	-2,1	3,1	11,4	16,8	21,1	23,7	22,7	17,2	10,3	4,3	-0,0	17,6	0,4	10,5
Минеральные Воды	-3,8	-2,8	2,3	10,0	15,3	19,1	21,7	21,4	16,3	9,5	3,6	-1,2	16,2	-0,4	9,3
Невинномысск	-3,6	-2,6	2,4	10,3	15,5	19,4	22,2	21,3	16,4	9,6	3,7	-1,0	16,4	-0,2	9,5
Новоалександровск	-2,4	-1,3	3,7	11,7	16,8	20,7	23,3	22,3	17,1	10,4	4,8	0,4	17,5	1,0	10,6
Рощино	-3,1	-2,2	3,0	10,8	17,0	21,5	24,5	23,3	18,0	11,0	4,6	-0,1	18,0	0,4	10,7
Светлоград	-2,7	-2,1	3,1	11,5	16,0	21,1	23,9	22,7	17,3	10,5	4,5	0,3	17,7	0,6	10,6
Ставрополь	-3,4	-2,8	1,7	9,7	14,9	19,0	21,8	20,9	15,9	9,3	3,5	-0,6	15,9	-0,3	9,2

**Приложение 6 – Вынос элементов питания 1 ц основной продукции
и соответствующим количеством побочной, кг**

Культуры	N	P	K
Пшеница озимая	3,0	1,1	2,5
Пшеница яровая	3,0	1,2	2,2
Рожь озимая	3,1	1,4	2,6
Ячмень	2,5	1,1	2,2
Овес	3,0	1,3	2,6
Кукуруза (зерно)	3,0	1,0	3,1
Просо	3,3	1,0	3,3
Гречиха	3,0	1,5	3,9
Сорго	3,7	1,1	1,5
Горох	6,6	1,5	2,0
Люпин	6,8	1,9	4,7
Соя	7,2	1,4	1,9
Вика (зерно)	6,2	1,3	1,6
Вика (сено)	2,3	0,6	1,0
Лен-долгунец (семена)	8,0	4,0	7,0
Лен-долгунец (солома)	1,2	0,7	1,7
Конопля	2,0	0,6	1,0
Подсолнечник	6,0	2,5	14,3
Свекла сахарная	0,6	0,2	0,8
Свекла кормовая	0,4	0,1	0,5
Картофель	0,6	0,3	1,5
Люцерна (сено)	2,6	0,7	1,5
Клевер луговой (сено)	2,0	0,6	1,5
Тимофеевка (сено)	1,6	0,7	2,0
Эспарцет (сено)	2,5	0,5	1,3
Костер безостый (сено)	2,2	0,6	1,8
Кукуруза (зеленая масса)	0,5	0,1	0,4
Яровой рапс на семена	5,6	3,0	5,6
Озимый рапс на семена	4,9	2,3	3,0
Рапс на зеленую массу	0,5	0,2	0,7

Приложение 7 - Коэффициенты использования элементов питания из почвы с программируемым урожаем (K_n) (Агеев В.В., 2001)

Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг	K_n фосфора	Содержание K_2O в почве, мг/кг	K_n калия
1	2	3	4
<10,0	0,3	<100	0,5
10,5	0,31	105	0,51
11,0	0,32	110	0,52
11,5	0,33	115	0,53
12,0	0,34	120	0,54
12,5	0,35	125	0,55
13,0	0,36	130	0,56
13,5	0,37	135	0,57
14,0	0,38	140	0,58
14,5	0,39	145	0,59
15,0	0,40	150	0,6
15,5	0,41	155	0,61
16,0	0,42	160	0,62
16,5	0,43	165	0,63
17,0	0,44	170	0,64
17,5	0,45	175	0,65
18,0	0,46	180	0,66
18,5	0,47	185	0,67
19,0	0,48	190	0,68
19,5	0,49	195	0,68
20,0	0,50	200	0,7
20,5	0,51	205	0,71
21,0	0,52	210	0,72
21,5	0,53	215	0,73
22,0	0,54	220	0,74
22,5	0,55	225	0,75
23,0	0,56	230	0,76
23,5	0,57	235	0,77
24,0	0,58	240	0,78
24,5	0,59	245	0,79
25,0	0,60	250	0,8
25,5	0,61	255	0,81
26,0	0,62	260	0,82
26,5	0,63	265	0,83

Продолжение приложения 7

1	2	3	4
27,0	0,64	270	0,84
27,5	0,65	275	0,85
28,0	0,66	280	0,86
28,5	0,67	285	0,87
29,0	0,68	290	0,88
29,5	0,69	295	0,89
30,0	0,70	300	0,90
30,5	0,71	305	0,91
31,0	0,72	310	0,92
31,5	0,73	315	0,93
32,0	0,74	320	0,94
32,5	0,75	325	0,95
33,0	0,76	330	0,96
33,5	0,77	335	0,97
34,0	0,78	340	0,98
34,5	0,79	345	0,99
35,0	0,80	>350	1,0
35,5	0,81		
36,0	0,82		
36,5	0,83		
37,0	0,84		
37,5	0,85		
38,0	0,86		
38,5	0,87		
39,0	0,88		
39,5	0,89		
40,0	0,90		
40,5	0,91		
41,0	0,92		
41,5	0,93		
42,0	0,94		
42,5	0,95		
43,0	0,96		
43,5	0,97		
44,0	0,98		
44,5	0,99		
>45	1,00		

Приложение 8 - Примерное содержание элементов питания в почвах пашни Ставропольского края (Агеев В.В, Подколзин А.И., 2001).

Зона, район	Преобладающий тип (подтип) почвы	Содержание		
		Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1				
Апанасенковский	Каштановые	2,0	22	409
Арзгирский	Каштановые	1,7	23	349
Левокумский	Светло-каштановые	1,56	24	415
Нефтекумский	Светло-каштановые	1,44	28	425
Туркменский	Каштановые солонцеватые	2,3	17	334
2				
Александровский	Чернозем типичный	3,5	25	280
Благодарненский	Каштановые	2,3	27	324
Буденовский	Каштановые	1,97	26	335
Ипатовский	Темно-каштановые	2,80	21	410
Курской	Темно-каштановые	2,19	20	319
Новоселецкий	Темно-каштановые	2,47	23	261
Петровский	Темно-каштановые	3,0	22	327
Советский	Темно-каштановые	2,6	20	339
Степновский	Темно-каштановые	2,1	24	345
3				
Изобильненский	Чернозем обыкновенный	3,6	18	346
Грачевский	Чернозем обыкновенный	3,3	22	255
Кочубеевский	Чернозем обыкновенный	4,2	20	325
Красногвардейский	Чернозем южный	3,0	20	275
Андроповский	Черноземы солонцеватые	4,5	15	363
Новоалександровский	Чернозем обыкновенный	3,8	20	379
Труновский	Чернозем обыкновенный	3,2	19	331
Шпаковский	Чернозем обыкновенный	4,4	14	346
4				
Георгиевский	Чернозем южный	3,4	23	330
Минераловодский	Черноземы солонцеватые	4,9	26	323
Кировский	Чернозем южный	3,6	28	319
Предгорный	Чернозем выщелоченный	5,5	27	377

**Приложение 9 – Средние коэффициенты использования
питательных веществ растениями из удобрений, %**

Год действия	Органических			Минеральных		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1-й год	20-25	25-30	50-60	60-70	15-20	50-60
2-й год	20	10-15	10-15	-	10-15	10-20
3-й год	10	5	-	-	5	-
За ротацию севооборота	50-55	40-50	60-75	60-70	30-40	65-80

Приложение 10 - Почвенный покров Ставропольского края

Наименование почв	Площадь, тыс. га
Черноземы выщелоченные (типичные)	55,5
Черноземы карбонатные (обыкновенные)	1257,7
Черноземы солонцеватые	405,7
Черноземы южные	658,5
Темно-каштановые карбонатные	1115,2
Темно-каштановые солонцеватые	155,4
Каштановые карбонатные	316,6
Каштановые солонцеватые	735,4
Светло-каштановые карбонатные	246,7
Светло-каштановые солонцеватые	162,5
Солонцы	274,3
Пески	241,1
Луговые	111,9
Пойменные	363,1
Солончаки	43,6
ВСЕГО	6342,2

**Приложение 11 – Коэффициенты использования растениями
основных элементов питания из почвы (Кп)**

Культуры	N	P	K
Пшеница озимая	0,20-0,35	0,05-0,10	0,08-0,15
Пшеница яровая	0,20-0,30	0,05-0,8	0,06-0,12
Рожь озимая	0,20-0,35	0,05-0,12	0,07-0,14
Ячмень	0,15-0,35	0,05-0,08	0,06-0,10
Овес	0,20-0,35	0,05-0,11	0,08-0,14
Кукуруза (зерно)	0,25-0,40	0,06-0,18	0,08-0,28
Просо	0,15-0,35	0,05-0,09	0,06-0,09
Гречиха	0,15-0,35	0,05-0,09	0,06-0,09
Сорго	0,15-0,40	0,06-0,13	0,07-0,15
Горох	0,30-0,55	0,09-0,16	0,06-0,17
Люпин	0,30-0,65	0,08-0,16	0,07-0,36
Вика (зерно)	0,25-0,40	0,06-0,10	0,05-0,11
Вика (сено)	0,20-0,35	0,06-0,09	0,05-0,10
Лен-долгунец (семена)	0,25-0,35	0,03-0,12	0,07-0,20
Лен-долгунец (солома)	0,22-0,32	0,03-0,12	0,06-0,18
Конопля	0,20-0,35	0,08-0,15	0,06-0,13
Подсолнечник	0,30-0,45	0,07-0,17	0,08-0,24
Свекла сахарная	0,25-0,50	0,06-0,15	0,07-0,40
Свекла кормовая	0,20-0,45	0,05-0,12	0,06-0,25
Картофель	0,20-0,35	0,07-0,12	0,09-0,40
Люцерна (сено)	0,35-0,70	0,07-0,20	0,08-0,25
Клевер луговой (сено)	0,30-0,65	0,05-0,18	0,06-0,16
Тимофеевка (сено)	0,15-0,25	0,03-0,10	0,08-0,12
Костер безостый (сено)	0,30-0,45	0,06-0,16	0,07-0,18
Кукуруза (зеленая масса)	0,20-0,40	0,06-0,18	0,8-0,28

**Приложение 12 – Коэффициенты использования основных
элементов питания полевыми культурами из туков (Ку)**

Культуры	N	P	K
Пшеница озимая	0,55-0,85	0,15-0,45	0,55-0,95
Пшеница яровая	0,45-0,75	0,15-0,35	0,55-0,85
Рожь озимая	0,55-0,80	0,25-0,40	0,65-0,80
Ячмень	0,60-0,75	0,20-0,40	0,60-0,70
Овес	0,60-0,80	0,25-0,35	0,65-0,85
Кукуруза (зерно)	0,65-0,85	0,25-0,45	0,75-0,95
Просо	0,55-0,75	0,25-0,40	0,65-0,85
Гречиха	0,50-0,70	0,30-0,45	0,70-0,90
Сорго	0,55-0,80	0,25-0,35	0,65-0,85
Горох	0,50-0,80	0,30-0,45	0,70-0,80
Люпин	0,50-0,90	0,15-0,40	0,55-0,75
Вика (зерно)	0,55-0,85	0,20-0,35	0,65-0,80
Вика (сено)	0,50-0,75	0,20-0,30	0,60-0,75
Лен-долгунец (семена)	0,55-0,70	0,15-0,35	0,65-0,85
Лен-долгунец (солома)	0,55-0,65	0,15-0,30	0,65-0,80
Конопля	0,55-0,65	0,50-0,30	0,65-0,80
Подсолнечник	0,55-0,75	0,25-0,35	0,65-0,95
Свекла сахарная	0,60-0,85	0,25-0,45	0,70-0,95
Свекла кормовая	0,65-0,90	0,30-0,45	0,80-0,95
Картофель	0,50-0,80	0,25-0,35	0,85-0,95
Люцерна (сено)	0,80-0,95	0,30-0,45	0,80-0,95
Клевер луговой (сено)	0,75-0,90	0,30-0,40	0,75-0,90
Тимофеевка (сено)	0,80-0,90	0,25-0,35	0,75-0,85
Костер безостый (сено)	0,75-0,95	0,30-0,45	0,80-0,85
Кукуруза (зеленая масса)	0,60-0,85	0,25-0,40	0,75-0,95