

The background of the cover is a photograph of a rural landscape. In the foreground, there is a lush green field of crops, likely alfalfa or a similar forage crop. In the middle ground, a row of bright yellow flowers, possibly rapeseed, stretches across the frame. The background shows a line of trees and a hazy, overcast sky. The title text is centered within a white rounded rectangle.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ
С КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ**

Москва 2024

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР КОРМОПРОИЗВОДСТВА
И АГРОЭКОЛОГИИ ИМЕНИ В. Р. ВИЛЬЯМСА»
(ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ
С КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ**

Москва 2024

**MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
RUSSIAN FEDERATION**

**Federal State Budgetary Scientific Institution
FEDERAL WILLIAMS RESEARCH CENTER
OF FORAGE PRODUCTION AND AGROECOLOGY
(Federal Scientific Center "VIK named after V.R. Williams")**

**THE METHODOLOGICAL BASIS
FIELD EXPERIMENTS
WITH FORAGE CROPS**

Moscow 2024

УДК 633.2/.4

ББК 42.2

DOI: 10.33814/fieldexperiments-2024-332

M54

M54 **Методические основы полевых опытов с кормовыми культурами** / А. С. Шпаков, Ю. К. Новоселов, Г. Д. Харьков, В. Т. Воловик, Л. А. Трузина, Т. В. Прологова, А. Н. Уланов, Н. А. Ларетин, С. Е. Сергеева, Т. Г. Усольцева. – Москва : ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2024. – 332 с.
ISBN 978-5-93098-144-5

Рецензенты:

В. В. Карпачев, член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Н. Н. Зезин, член-корреспондент РАН,
доктор сельскохозяйственных наук

С. Н. Зудилин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

В данной работе излагаются методические основы проведения полевых опытов с кормовыми культурами. На основе современных тенденций развития животноводства и кормопроизводства, комплексного подхода и организации природоохранных, ресурсосберегающих и экологически безопасных систем кормопроизводства приведены классические и новейшие методы проведения полевых экспериментов по технологиям возделывания основных кормовых культур с целью повышения их продуктивности, энергетической и протеиновой питательности объемистых и концентрированных кормов, обоснованию структуры посевных площадей и системы севооборотов, разработке моделей организации и управления ресурсосберегающих, природоохранных агроэкосистем.

Данное издание предназначено для научных сотрудников, аспирантов и преподавателей учебных заведений, проводящих научно-исследовательские работы в области полевого кормопроизводства.

ISBN 978-5-93098-144-5

Работа рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» (протокол № 8 от 25 октября 2023 г.)

© Федеральный научный центр кормопроизводства
и агроэкологии имени В.Р. Вильямса

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1. Общие понятия о классификации научных исследований.....	9
2. Основные положения методики научных исследований	
в полевом опыте.....	14
2.1. Схемы многофакторных опытов.....	19
3. Методы изучения корневой системы растений.....	50
4. Основы методики экспериментальных исследований	
и оценки систем кормопроизводства.....	54
4.1. Подготовка земельного участка и закладка полевого опыта.....	59
4.2. Учеты и наблюдения в полевом опыте.....	60
4.3. Засоренность посевов и почвы.....	66
4.4. Энтомологические учеты.....	67
4.5. Фитопатологические учеты.....	68
5. Кормовые севообороты.....	70
6. Методические основы анализа потоков энергии и вещества	
в системах кормопроизводства и севооборотах.....	77
6.1. Общая схема исследования и анализа.....	77
6.2. Основные показатели эффективности.....	81
6.3. Определение энергии органического вещества.....	84
6.4. Определение содержания азота и сырого протеина	
в органическом веществе.....	87
6.5. Определение затрат техногенной энергии.....	88
6.6. Методика оценки эффективности структуры посевных	
площадей и севооборотов по выходу условной продукции.....	89
6.7. Основные параметры эффективности агрофитоценозов.....	91
7. Лизиметрические исследования с кормовыми культурами.....	95
8. Полевые опыты с кормовыми культурами при орошении.....	103
9. Полевые опыты с кормовыми культурами на осушенных	
минеральных землях.....	115
10. Особенности методики полевых исследований на торфяных	
почвах.....	124
11. Методика опытов с кормовыми культурами.....	137
11.1. Многолетние травы.....	137
11.2. Однолетние травы и зернофуражные культуры.....	154

11.3. Силосные культуры	164
11.4. Кормовые корнеплоды	171
11.5. Капустные культуры	177
11.6. Промежуточные культуры.....	180
12. Методика опытов по защите посевов от сорной растительности	186
13. Методика учета повреждаемости кормовых культур вредителями и болезнями	196
13.1. Болезни кормовых культур.....	207
14. Методика определения остаточных количеств пестицидов	221
15. Основы статистического анализа результатов исследований.....	224
15.1. Нормальное распределение случайных чисел.....	226
15.2. Основные показатели количественной и качественной изменчивости	233
15.3. Дисперсионный анализ	250
15.4. Корреляция и регрессия	268
16. Экономическая оценка результатов научных исследований	279
17. Методика агроэнергетической оценки технологий и севооборотов	285
18. Методика проведения производственной проверки научных разработок.....	300
19. Документация и отчетность.....	303
Список использованной литературы	305
Приложения.....	309

Успехи науки зависят от накопленных фактов, но ни в коем случае не определяются их числом, а лишь суммой идей, суммой того умственного материала, той пищей для мысли, которые можно извлечь из фактов.

Ю. Либих

ВВЕДЕНИЕ

Высококачественные корма для интенсивного животноводства и птицеводства являются важнейшим фактором производства полноценных продуктов питания и их доступности населению страны. Российская Федерация располагает огромными почвенно-климатическими и растительными ресурсами для решения этой задачи. Реализация этого потенциала определяется динамикой научно-технического прогресса, основой которого является научно-исследовательская работа по накоплению знаний, их систематизации и разработки теории и параметров организации высокопродуктивных, энергосберегающих, экологически безопасных и экономически эффективных систем производства кормов. Основным критерием оценки результатов экспериментальной работы является их объективность и достоверность, которые зависят от соблюдения методических требований в период планирования и подготовки экспериментов, их проведения и оценки полученных результатов.

Большой вклад в разработку методологии научных исследований с кормовыми культурами внесли ученые ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса (А. С. Митрофанов, Ю. К. Новоселов, Г. Д. Харьков, В. Н. Киреев, М. С. Рогов, А. С. Образцов, Г. П. Кутузов, Н. С. Каравянский, А. В. Кужютин, И. Е. Асланов, Т. И. Макарова, Е. В. Клушина и другие); ТСХА (Б. А. Доспехов); Сибирского НИИ кормов (М. Д. Константинов); ВНИИ орошаемого земледелия (В. М. Киреев); ВНИИ мелиоративного земледелия (А. М. Бакланов), а также вузов и опытных станций страны.

Научными учреждениями накоплен значительный методический опыт проведения научно-исследовательских работ, обобщение результатов которых позволило разработать зональные системы кормопроизводства, включающие обоснование видового и сортового состава куль-

тур, структуры посевных площадей и размещения культур в системе севооборотов, разработку технологий возделывания для реализации продуктивного потенциала в зависимости от уровня применения антропогенных ресурсов.

Вместе с тем современные тенденции специализации и концентрации отраслей сельскохозяйственного производства, их адаптации к зональным, региональным и разнообразным ландшафтным условиям требуют разработки новых методических подходов к изучению устойчивого функционирования кормовых агроэкосистем при различных уровнях антропогенного воздействия и варьирования погодных условий. Важнейшим направлением исследований остается совершенствование научных основ управления энергетической и протеиновой питательностью растительного сырья и кормов, реализация продуктивного потенциала видов и сортов кормовых культур. При этом в максимальной степени необходимо использовать почвенно-климатические и биологические ресурсы при значительном повышении эффективности использования ограниченных и дорогостоящих материально-технических средств. Поэтому на современном этапе в исследованиях производственных процессов и управлении ими необходимо использовать материальные ресурсы нового поколения (сорта, удобрения, средства защиты, регуляторы роста, технические средства и др.). В результате исследований должны научно обосновываться параметры и требования к совершенствованию применения таких средств по управлению производственным процессом.

Необходимость конструирования природоохранных, ресурсосберегающих агроэкосистем требует разработки и применения в научно-исследовательской работе моделирования изучаемых объектов с использованием математических методов их оптимизации и прогнозирования функциональных свойств. Метод имитационного моделирования является, по существу, единственно возможным при разработке параметров конструирования и анализе функционирования отраслевых целевых агроэкосистем. Научная ценность метода состоит в возможности заменить реальный объект или процесс, при изучении особенностей его функционирования, математической моделью, если прямой эксперимент практически невозможен или стоит больших затрат.

При этом наиболее перспективным направлением оценки агроэкосистем является анализ потоков энергии и вещества в системе, где основным показателем измерения является энергетическая единица.

Для решения этой проблемы необходимы длительные стационарные опыты с целью создания банка данных и разработки имитационных математических моделей систем кормопроизводства, позволяющих с высокой долей достоверности прогнозировать их устойчивое средостабилизирующее функционирование в типичных агроландшафтных системах. Следовательно, современные исследования, наряду с классическими методиками по технологиям возделывания кормовых культур, требуют новых направлений, основанных на широком использовании достоверных экспериментальных данных и на их основе имитационного моделирования и программного обеспечения эффективных систем кормопроизводства для животноводческих хозяйств различных организационных форм и агроландшафтных систем.

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О КЛАССИФИКАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу научной деятельности положено знание закономерностей взаимодействия наук между собой и практикой, способов обобщения и систематизации научных данных и их эффективного применения во всех общественных процессах.

Сельскохозяйственные науки базируются на агробиологии, использующей фундаментальные открытия естествознания (физика, химия, математика, физиология, экология и др.) в приложении их к решению проблем сельскохозяйственного производства и задач рационального природопользования.

Основными критериями классификации научных исследований являются цель и область применения результатов. В соответствии с этими критериями научные исследования делятся на фундаментальные, прикладные и разработки (А. С. Образцов, 1987).

Фундаментальные исследования направлены на получение новых знаний, фактов, явлений, законов, создание новых фундаментальных теорий. Такие исследования могут быть свободными и целенаправленными, которые ведутся в определенных перспективных областях. В фундаментальных исследованиях используются экспериментальные и теоретические методы. В биологических дисциплинах используются в основном экспериментальные исследования, которые завершаются разработкой теории. Фундаментальные исследования можно проводить на модельных объектах простых по структуре и удобных в исполнении.

Знания, полученные в фундаментальных исследованиях, используются в прикладных или получают развитие в перспективных фундаментальных направлениях. Современные прикладные исследования в земледелии и растениеводстве базируются на открытиях и завершенных теориях питания растений, фотосинтеза, свободной и симбиотической азотфиксации, наследственности и изменчивости, жизненных форм растений, фитогормонов, фотопериодизма, онтогенеза и т. д.

Современные направления фундаментальных исследований в земледелии и растениеводстве в значительной степени определяются необходимостью конструирования, управления и использования агроэко-

стем, обладающих высоким продуктивным и средообразующим потенциалом. Основная задача заключается в повышении биоэнергетического и экологического потенциалов агроэкосистем, соответствующих общим закономерностям функционирования биосферы. По определению В. А. Ковды, биосфера — сложная многокомпонентная общепланетарная термодинамически открытая саморегулирующаяся система живой и неживой материи, аккумулирующая и перераспределяющая огромные ресурсы энергии и определяющая состав и динамику земной коры, атмосферы и гидросферы.

Агроэкосистема — создаваемые и управляемые человеком сообщества растительных и животных организмов, среды их обитания, объединенные в единое функциональное целое на основе причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами. Агроэкосистемы включают также производственную и социальную структуру среды обитания человека.

В основу анализа и оценки агроэкосистем должно быть положено изучение потоков энергии и вещества, эффективность их использования при производстве продовольственных ресурсов и воспроизводстве окружающей среды, включая эстетические потребности человека.

При изучении и разработке параметров таких сложных систем целесообразно использовать имитационное математическое моделирование с последующей проверкой (верификацией) и корректировкой модели в длительных стационарных комплексных опытах или на эффективных производственных объектах.

Прикладные исследования проводятся на основе открытий, законов, работающих теорий и направлены для использования фундаментальных знаний в практических целях: технологии и технологические приемы возделывания культур, эффективное использование средств управления продуктивностью и качеством растительного сырья (удобрения, биологически активные вещества, средства защиты, орошение, осушение, обработка почвы и т. д.), создание и управление целевых агроэкосистем.

Решение целей и задач исследований в большинстве случаев определяется потребностями производства. Прикладные исследования тщательно планируются по методам и срокам их проведения на основа-

нии оценки реальной возможности получения необходимого результата. Как правило, вероятность достижения планируемых результатов и доведения их до практического применения высокая.

В отдельных случаях различия между фундаментальными и прикладными исследованиями определить сложно. Так, обоснование параметров и критериев конструирования, управления и использования сложных агрофитоценозов длительного пользования, их средообразующих свойств имеет признаки как прикладных, так и фундаментальных исследований. Такие же признаки имеют длительные комплексные исследования с севооборотами, включающими системы чередования культур, обработки почвы, удобрения и средств защиты растений; воздействие систем на почву, окружающую среду, качество продукции.

Разработки — вид научной деятельности, направленный непосредственно на применение завершенных научных исследований в производство: новые и усовершенствованные технологические приемы и технологии, способы и средства производства, виды и сорта культур, севообороты, структура посевных площадей и сельскохозяйственных угодий, мелиоративные и противоэрозионные мероприятия и т. д.

По стадиям исследований выделяются **эмпирическая и теоретическая**. **Эмпирическая** стадия включает исходную информацию в виде экспериментальных данных, их первичную математическую обработку с целью доказательства достоверности данных. По мере накопления экспериментальных данных осуществляется логический и математический анализ их совокупности, получают более сложные эмпирические знания, вводятся эмпирические понятия, гипотезы, устанавливаются внешние связи явлений.

На последующем этапе осуществляется обобщение данных в каждой группе явлений, происходит переход от конечного числа данной группы к бесконечному их числу и на этой основе разрабатываются определенные эмпирические закономерности и законы. Эмпирический закон является высшей формой эмпирического знания.

Теоретическая стадия исследований является наиболее совершенной формой научного обоснования, прогнозирования и программирования перспективных направлений научных исследований, социально-экономического развития и отдельных отраслей. На этой стадии эм-

пирические знания, закономерности и законы обобщают в систему, вследствие этого получают дополнительные новые знания системного целого, не присущие его подсистемам и блокам. Краткое определение таких свойств системы, или ее эмерджентности: целое больше суммы ее частей. Поэтому разработанные системы на основе научных исследований и их математического моделирования должны проходить проверку в природных условиях на практических объектах, где связи между подсистемами и блоками более разнообразны, поскольку подвержены постоянно меняющемуся воздействию окружающей среды: свет, влага, тепло, пищевой режим, свойства почвы и т. д. Так, при различном количестве осадков изменяются влажность почвы, ее температурный и воздушный режимы, биологическая активность, а в целом — и весь пищевой режим, определяющий уровень и качество продукционного процесса.

Поисковые исследования проводятся как при фундаментальных, так и при прикладных направлениях. Основная цель таких исследований — выявление новых, наиболее перспективных решений и направлений работ. В области кормопроизводства такими исследованиями могут являться изучение и использование нетрадиционных биологических и минеральных ресурсов с применением новых физико-химических методов и источников энергии. Поисковые фундаментальные и прикладные исследования зачастую могут выходить за пределы экономической целесообразности. Однако их значение в развитии научно-технического прогресса достаточно велико.

По количественному и качественному составу исследуемых свойств и сложности объекта исследования могут быть **комплексными** и **дифференцированными**. Комплексные исследования направлены на изучение взаимодействия отдельных блоков и элементов системы, достижение максимально возможного результативного эффекта.

Дифференцированные исследования направлены на более глубокое изучение блока или элемента системы, или действия на них одного фактора. В современных условиях комплексные исследования природно-антропогенных объектов, используемых для производства продовольственных ресурсов, приобретают наиболее актуальное значение. Накопленный эмпирический материал позволяет с достаточно высокой

эффективностью исследовать сложные системы, сочетая имитационное математическое моделирование и натурные исследования, проводимые на реальном объекте в его естественном состоянии. Примером изучения такой системы может быть следующая схема: «почва–растение–корма–животное–животноводческая продукция». Переход от дифференцированных к комплексным исследованиям определяется переизбытком эмпирических данных и возникающим при этом недостатком знаний о функционировании, управлении и прогнозировании эффективности сложных систем, определяющих социально-экономический и экологический эффект.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ

Научные исследования проводятся с целью изучения закономерностей функционирования естественных, антропогенных и смешанных систем, объектов, обеспечивающих их возможное воспроизводство, для решения практических общественных задач или получения новых знаний о закономерностях развития природы и общества.

Обязательным условием при планировании полевых исследований является **типичность опыта**, под которой понимается соответствие условий его проведения почвенно-климатическим и организационно-технологическим (концентрация и специализация отраслей, уровень интенсивности, экологизация и др.) условиям района или зоны.

Основные требования к проведению научных исследований: объективность, доказательность и точность полученных результатов, возможность воспроизведения для эффективного решения практических задач. Выполнение этих требований является обязательным условием научно-исследовательской работы и определяется применением научно обоснованной методологии проведения работ и точным соблюдением ее положений.

Подготовка и проведение исследований включает следующие этапы: **обоснование научной проблемы и направлений ее решения, тщательный анализ существующей научной и практической информации по исследуемой проблеме; обоснование исходных гипотез, целей и задач, получение новых знаний по изучаемому объекту; разработка требований и условий, схем и методов проведения исследований; планирование, организация и проведение опыта: экспериментальная проверка исходной гипотезы и ожидаемых результатов; обоснование объективности и точности полученных результатов; анализ и обобщение результатов опыта, разработка эмпирических закономерностей; теоретическое обобщение эмпирических закономерностей и разработка перспективных направлений применения новых знаний в практической и научной деятельности.**

Актуальность научной проблемы, требующей решения в области теории, определяется внутренней эволюцией знаний; в практических

областях цели и задачи исследований определяются потребностями развития производства и его воздействием на окружающую среду.

Особое значение следует уделять анализу имеющейся отечественной и зарубежной научной и практической информации по исследуемой проблеме и выявление недостающих данных для разработки или оптимизации функционирования объектов или систем, что позволит избежать дублирования и непроизводительных затрат средств на научные исследования в конкретных почвенно-климатических условиях. В современных условиях при наличии новейших коммуникационных систем сбор и анализ научной и практической информации по научным проблемам значительно упрощаются, ее достоверность и объективность повышаются.

Основанием для разработки тематики научных исследований может также являться техническое задание отдельных организаций, устанавливающих требования к содержанию, объемам и срокам выполнения работ.

Обоснование исходных гипотез, целей и задач исследований является важным этапом подготовительных мероприятий. Объективность и целесообразность этого этапа определяется уровнем профессиональной подготовки ученых, знанием истории развития исследований, научными достижениями по проблеме в смежных дисциплинах, запросами практических отраслей экономики. Основное требование к этому этапу — получение новых знаний по поставленной проблеме, их социально-экономическое значение.

Разработка требований, условий, схем и методов является важнейшим этапом проведения исследований, определяющих получение и формирование банка экспериментальных данных, позволяющих с максимальной возможной точностью выявить закономерности функционирования объекта и их воспроизводство в естественных условиях.

Планирование, организация и проведение опытов включают разработку программы и методики исследований, обоснование потребности в земельной площади, приборном оборудовании, материально-технических ресурсах (технические средства, семена, удобрения, средства защиты, различный инвентарь и т. д.), количестве анализов в лабораторных условиях, потребности в исполнителях и финансах.

Программа и методика научных исследований, дневник и журнал полевого опыта являются основными рабочими документами, определяющими последовательность и эффективность выполнения научно-исследовательских работ и контроль за их проведением. Первичная научная информация в полевых условиях фиксируется в **дневнике полевого опыта**. Журнал полевого опыта предназначен для хранения научной информации в камеральных условиях. Данные дневника в обязательном порядке переносятся в журнал полевого опыта, который хранится в условиях, исключающих его утрату. Страницы дневника и журнала нумеруются, прошиваются, скрепляются подписью и печатью ученого секретаря научного учреждения. Ответственность за своевременное заполнение этих документов и их хранение, достоверность данных возлагаются на исполнителей, руководителей научных исследований соответствующего подразделения.

Содержание программы и методики исследований включает наименование задания и темы, список исполнителей, обоснование направления и задачи исследований на основе анализа имеющихся данных по проблеме в отечественных и зарубежных научных публикациях и производственном опыте, описание почвенно-климатических условий проведения опытов и возможных природно-сельскохозяйственных регионов практического применения ожидаемых результатов (природно-сельскохозяйственная зона, провинция, округ), схемы опытов и методику проведения наблюдений и учетов, ежегодный объем работ, ожидаемые результаты, список использованной научной литературы, приложения. В приложениях указываются схемы и ротационные таблицы севооборотов, системы обработки почвы, применения удобрений и средств защиты растений, нормы посева семян и другие. При необходимости в программе указываются также методики проведения вегетационных, лизиметрических и аналитических опытов.

Экспериментальная проверка исходной гипотезы и ожидаемых результатов включает выбор и подготовку участка для полевого опыта, проведение опыта и получение научных результатов.

В зависимости от решаемых задач полевые агротехнические опыты делятся на **единичные** и **массовые**, **однофакторные** и **многофакторные**, **краткосрочные** и **длительные**.

Опыты единичные закладывают в отдельных местоположениях, независимо друг от друга по различным схемам; массовые (географические) опыты проводят по согласованным схемам и методикам в различных почвенно-климатических условиях в масштабе страны, природно-сельскохозяйственной зоны, провинции, округа.

По содержанию однофакторные варианты опыта могут быть качественными (севооборот, предшественник, вид, сорт, формы удобрения, способ посева, обработка почвы, средства защиты растений) и количественными (дозы, нормы удобрений и средств защиты, сроки сева, нормы высева, глубина обработки почвы, сроки уборки и др.). При составлении схемы опыта с количественными вариантами важно определить шаг варьирования количественного фактора с тем, чтобы на основании полученных результатов, можно было построить кривую отклика, которая характеризует влияние изучаемого фактора на продуктивность культур (рис. 1).

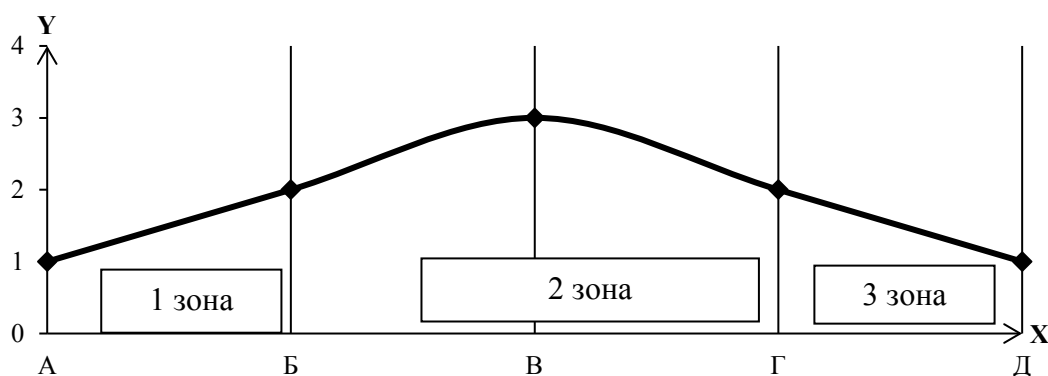


Рис. 1. Кривая отклика на изучаемые факторы

При правильно разработанной схеме кривая вариационного ряда должна иметь три условных зоны: 1 – возрастающая; 2 – стабильная; 3 – уменьшающаяся. Такая кривая отклика позволяет объективно оценить действие фактора.

В многофакторных опытах изучается действие и взаимодействие двух и более факторов. При взаимодействии факторов может быть как положительный, так и отрицательный эффект. Определить объективно величину и характер взаимодействия можно только в опытах, спланированных по схеме полного факториального эксперимента, в которой име-

ется наличие всех возможных сочетаний изучаемых факторов и их градаций.

Классическая восьмерная схема относится к полной факториальной схеме многофакторных опытов, так как здесь осуществлены все сочетания испытываемых в опыте доз удобрений. Каждый из факторов N, P, K в данном случае имеет две дозы (0 и 1), поэтому количество вариантов определяется произведением $2 \times 2 \times 2 = 8$. Число сомножителей определяет число факторов (в этом случае три), а каждый из сомножителей указывает на число градаций данного фактора. Если же из трех факторов N, P и K будут иметь по пять градаций (дозы 0, 1, 2, 3, 4), то число вариантов возрастет до $5 \times 5 \times 5 = 125$, то есть число вариантов по мере увеличения числа доз будет прогрессивно возрастать. Поэтому, начиная с некоторого момента, практическое осуществление таких опытов в полевых условиях становится невозможным, требуется переход к неполным факториальным схемам. Последние составляют как определенную комбинацию более элементарных полных схем или как специальные выборки из полных факториальных схем.

В факториальном опыте применяют специальную символику. Для этого устанавливают определенный порядок факторов; в опытах с удобрениями берут общепринятый порядок отдельных видов удобрений N, P и K. Эти символы не записывают, а на их место ставят цифры, обозначающие дозы в условных единицах. Например, вариант $N_5P_3K_2$ следует записать трехзначным числом 532 и т. д.

Данные урожайности в опыте обрабатывают методом регрессионного анализа, основанном на теории метода наименьших квадратов. При расчете регрессии для характеристики действия удобрений на урожай лучшей моделью является уравнение, которое содержит переменные в первой и половинной степенях:

$$Y = a_0 + a_1N^{0,5} + a_2N + a_3P^{0,5} + a_4P + a_5K^{0,5} + a_6K + a_7(NP)^{0,5} + a_8(NK)^{0,5} + a_9(PK)^{0,5},$$

где Y – теоретический урожай;

параметр a_0 – начальный урожай (без удобрений);

коэффициенты a_1 и a_2 – параметры фактора N;

a_3 и a_4 – параметры фактора P; a_5 и a_6 – параметры фактора K;

a_7 , a_8 , a_9 – соответственно параметры взаимодействий N и P, N и K, P и K. Символы N, P и K означают дозы (фактические или условные) соответствующих видов удобрений.

2.1. Схемы многофакторных опытов

Полные факториальные схемы. К простейшим факториальным схемам относятся схемы 2^n , предназначенные для изучения нескольких факторов, каждый из которых имеет по две градации. Например, схема 2^3 (2 — число доз, а степень 3 — число факторов) содержит всего 8 вариантов — 0, N, P, K, NP, NK, PK, NPK.

Схема 2^4 с четырьмя факторами N, P, K и D (например, навоз) при двух дозах (включая нулевую) каждого содержит уже 15 вариантов, при закладке опыта по этой схеме варианты целесообразно сгруппировать в два блока:

1-й блок: 0, NP, NK, ND, PK, PD, KD, NPKD.

2-й блок: N, P, K, D, NPK, NPD, NKD, PKD.

Схема опыта 2^5 с пятью факторами N, P, K, D и C (например, извесь) имеет уже 32 варианта, которые разбивают на четыре блока по 8 вариантов. Аналогично указанным выше закладывают опыты по схемам 3^n (3^2 , 3^3 , 3^4), 4^n (4^2 , 4^3). Схема 4^4 уже громоздка и практически не может быть осуществлена в условиях полевого опыта.

Неполные факториальные схемы представляют собой выборки из полных схем, произведенные по определенной системе. Например, полная схема 4^3 должна содержать 64 варианта, в схеме на $\frac{1}{4}$ ($4 \times 4 \times 4$) количество вариантов сокращено в 4 раза и составляет 16. Сокращенный вариант схемы планируется по системе 2^4 с четвертым условным фактором, принимающим значение 000 и 111.

При изучении действия четырех факторов (N, P, K и навоза D) при четырех дозах каждого (включая нулевую) полная схема потребовала бы $4^4 = 256$ вариантов. Схема $\frac{1}{8}$ ($4 \times 4 \times 4 \times 4$) имеет 32 варианта, то есть представляет собой выборку одной восьмой части из этого количества вариантов.

При двукратной повторности используют форму квазилатинского квадрата 8×8 . По этому же принципу строят схемы опытов $\frac{1}{9}$ ($6 \times 6 \times 6$), $\frac{1}{27}$ ($6 \times 6 \times 6 \times 6$), $\frac{1}{9}$ ($9 \times 9 \times 9$).

В том случае, когда не все факторы требуют изучения с одинаковой тщательностью, то есть с разным числом градаций, используют схемы при неодинаковом количестве градаций у разных факторов. Так, в схеме $8 \times 8 \times 2$ два первых фактора (например, N и P) изучают в восьми

дозах (от 0 до 7), а третий — в двух дозах (0 и 1). Схема содержит 32 варианта и представляет собой выборку одной четвертой части из полной факториальной схемы $8 \times 8 \times 2$, содержащей 128 вариантов. В схеме применяют блокировку по строкам и столбцам (квазилатинский квадрат 8×8). По этому же принципу построены схемы $9 \times 9 \times 3$, $7 \times 7 \times 4$.

Когда вместе с удобрениями изучают один или несколько факторов (нормы высева, способы обработки почвы, сроки посева и др.), целесообразно использовать схему расщепленных делянок. В этом случае применяют делянки разных категорий, например, основные делянки, на которых изучают удобрения, и субделянки, являющиеся частями основных делянок. Основой такой схемы может служить формула $4 \times 4 \times 4 \times 2$, где на больших (основных) делянках изучают факторы N, P и K в четырех дозах каждый, а на малых (субделянках) — две градации другого фактора, обозначаемые A и B.

Метод расщепленных делянок можно применять ко всем описанным выше схемам, как к полным, так и к неполным.

Основным руководством для проведения многофакторных опытов являются методические указания «Проведение многофакторных опытов с удобрениями и математический анализ их результатов» (М., 1976).

По длительности проведения исследований полевые опыты делятся на краткосрочные, многолетние и длительные.

Полевые опыты продолжительностью от трех до 10 лет являются краткосрочными. Применяются при изучении эффективности возделывания новых видов и сортов, норм посева, сроков уборки кормовых культур и т. д. В течение трех лет опыты проводятся на разных участках, что является достаточным для учета влияния погодных условий на изучаемые приемы. При более продолжительных сроках исследований (до 10 лет) опыты закладывают на стационарных участках, где можно изучить длительность действия изучаемых факторов (эффективность отдельных звеньев севооборота, орошение, последствие предшественников, минеральных и органических удобрений, известкования, отдельных приемов мелиоративной обработки почвы и т. д.).

В многолетних (10–50 лет) и длительных (более 50 лет) стационарных полевых опытах проводится изучение действия, взаимодействия и последствие систематически проводимых комплексов агротехниче-

ских технологий, сукцессий многолетних фитоценозов и агроландшафтов, структуры посевных площадей и севооборотов, систем кормопроизводства.

Многолетние и длительные полевые опыты необходимо широко использовать для решения фундаментальных задач земледелия и растениеводства, для глубоких комплексных исследований новых закономерностей физико-химических и биохимических процессов, медленно протекающих в почвенном покрове, культурных и естественных ценозах, изучения потоков энергии и вещества в системах, возможных изменений и загрязнения окружающей среды, влияние климата на продукционные процессы как отдельных культур, так и совокупности культурных и естественных ценозов. В длительных опытах можно с высокой степенью вероятности получить качественно новые закономерности функционирования агроэкосистем, учитывающие перспективы научно-технического развития общества и прогноз изменения климата планеты. Значение многолетних исследований существенно возрастает на современном этапе, к которому накоплено огромное количество эмпирических данных, требующих теоретического обобщения и проведения комплексных фундаментальных исследований, определяющих основные направления рационального природопользования и производства качественной сельскохозяйственной продукции для здорового питания населения страны.

В основу планирования и проведения длительных опытов должно быть положено исследование закономерностей оптимизации функционирования естественных и антропогенных агроландшафтных систем посредством предварительного моделирования гипотез и их экспериментальной проверки. По существу, необходимо создать банки научных данных и разработать на их основе гипотетическую математическую модель функционирования системы, проверить и скорректировать параметры системы экспериментальным путем в естественных условиях.

Важнейшим условием достоверности научных данных является объективное распределение многолетних опытов на основе сельскохозяйственного районирования территории, концентрации и специализации отдельных отраслей растениеводства и животноводства. Так, основными районами специализации молочно-мясного животноводства в

стране являются лесная и лесостепная зоны, где и должны размещаться длительные комплексные опыты применительно к этой отрасли.

В настоящее время созданы научные центры, деятельность которых охватывает значительные территориальные комплексы. В таких центрах, включая научный центр по кормопроизводству, длительные многофакторные опыты должны стать основой проведения фундаментальных исследований по проблемам воспроизводства и использования растительных, почвенных и климатических ресурсов. Длительные исследования целесообразно проводить на кооперативных началах, создавая хорошо оснащенные аналитические центры коллективного пользования. Планирование длительных опытов, обработка данных и формирование банка научных данных целесообразно проводить централизованно головными учреждениями научных центров. Общая схема планирования длительных опытов должна включать следующие этапы: гипотеза – математическая модель – параметры модели на основе накопленных знаний – экспериментальная проверка модели техническими средствами – проведение полевого опыта с целью проверки математической модели и уточнения ее параметров (системы) – практическое использование. Метод технической (компьютерной) имитации модели позволяет в камеральных условиях экспериментировать с большим числом выявленных закономерностей и принимать практические решения.

Выбор участка. Основным источником ошибок при закладке полевых опытов является пестрота плодородия почвы. При выборе участка необходимо знать, как он использовался за последние 3–4 года (выращиваемые культуры, известкование или гипсование почвы, система применения органических и минеральных удобрений, приемы обработки почвы, борьба с сорняками и т. д.).

Почвенная разность должна быть типичной для данного района, где планируется изучение агротехнических приемов и их внедрение. Определяют почвенную разность обследованием в масштабе 1:1000–1:5000.

Рельеф участка должен быть ровным. Допускается небольшой равномерный уклон в одном направлении (не более 1 м на 100 пог. м). На склоновых землях разной крутизны закладывают специальные опыты (по способам обработки почвы, дифференцированному внесению

удобрений на разных частях склонов, изучению смыва почвы и др.). На склоновых землях существенное влияние на продуктивность культур и их качество оказывает уровень эродированности (смытости) почв, в результате которой почвенный профиль теряет наиболее плодородную часть. По степени эродированности различают слабо-, средне- и сильно-смытую почву. На таких почвенных разностях технологии возделывания кормовых культур сплошного посева имеют существенные различия по уровню применения органических и минеральных удобрений, приемам обработки почвы, нормам посева семян и т. п. Поэтому закладки опытов проводят обычно на участках с несмытой (контроль), а также на слабо-, средне- и сильносмытой почве. В специализированных животноводческих хозяйствах эродированные почвы обычно занимают многолетними травами длительного пользования. Поэтому краткосрочные опыты, например по дифференцированному применению удобрений, можно проводить в производственных условиях. В производственных условиях также целесообразно проводить исследования по влиянию рельефа и экспозиции склонов на рост и развитие, продуктивность и качество кормовых, зерновых и пропашных культур. Такие данные позволяют изучить адаптационный потенциал культур, оптимизировать их размещение в агроландшафтных системах.

Точность опыта во многом зависит от однородности почвенного покрова. Но это не означает, что нельзя закладывать опыты на пестрых комплексных почвах. При этом необходимо закладывать каждую повторность на однородных участках поля.

На результаты опытов могут оказывать влияние постройки, лес, лесополосы, отдельные деревья и т. д. Поэтому от построек опыты должны быть удалены на 50–100 м, от опушек леса — на 200 м, от отдельных деревьев — на 25–30 м, от дорог — на 10–20 м.

Для уменьшения пестроты на полях, предназначенных под опыты, в течение трех–четырёх лет проводят уравнительные посевы сельскохозяйственных культур. Для этого используют типичные для зоны культуры при определенном чередовании их в севообороте и общепринятой агротехнике. При постановке опытов с удобрениями в период проведения уравнительных посевов целесообразно соблюдать определенную систему применения органических и минеральных удобрений, направ-

ленную на изменение содержания тех или иных элементов питания в почве в желаемом для экспериментатора направлении.

В научных учреждениях для проведения краткосрочных технологических и других исследований целесообразно вводить четырех–пятипольные севообороты, в которых одно поле отводится под полевые опыты. Например: 1) пар занятый, 2) озимые + пожнивные, 3) яровые зерновые, 4) однолетние травы, 5) полевые опыты.

В таком севообороте можно проводить исследования, как с однолетними, так и с многолетними культурами краткосрочного пользования (1–3 года). При длительности пользования травами (дольше трех лет) исследования проводятся в выводном поле: 1) пар занятый, 2) озимые – пожнивные, 3) яровые зерновые, 4) опытное поле с однолетними культурами, 5) выводное поле с многолетними культурами.

При планировании и закладке многолетних опытов выбор опытного участка осуществляется по результатам учета урожайности рекогносцировочных посевов. Под рекогносцировочные посевы отводят земельные участки примерно в 1,5–2,0 раза превышающие площадь, необходимую для закладки длительного опыта, что позволяет в дальнейшем разместить повторности с наименьшим варьированием уровня плодородия и урожайности изучаемых культур.

Для рекогносцировочных посевов чаще используют зерновые культуры: овес, ячмень, яровую пшеницу. Уборка проводится малогабаритными комбайнами. Поле после составления плана учета разбивают на полосы с таким расчетом, чтобы за один проход комбайна площадь учетной делянки составляла 40–50 м². В результате дробного учета получают ряд цифровых показателей, которые наносятся на план учитываемых делянок (рис. 2).

Результаты данных по урожайности анализируются визуально и с применением методов математической статистики. Визуально на плане выделяются делянки или группа делянок, которые заметно выделяются по уровню продуктивности среди большинства других значений. Простой визуальный анализ плана может указать на возможность оптимального размещения повторностей, поворотных полос, дорог, площадок для метеопунктов, изучения уровня грунтовых вод и т. д.

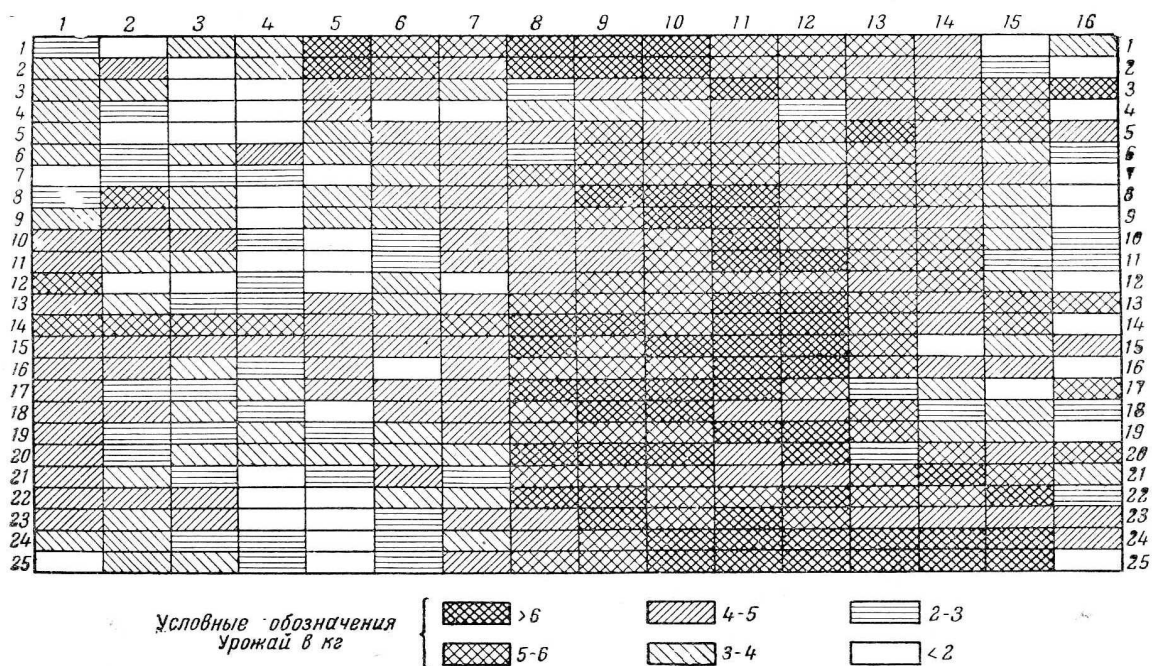


Рис. 2. План дробного учета рекогносцировочного посева на участке № 17 Долгопрудного опытного поля

Пестрота участков, выделенных под экспериментальные посева, анализируется методами математической статистики, основанной на теории нормального распределения случайных (независимых) чисел.

Для определения количества повторений для закладки стационарного опыта на основе учета рекогносцировочного посева применяется формула:

$$n = \left(\frac{v}{S\bar{x}\%} \right)^2,$$

где v – коэффициент вариации урожайности;

$S\bar{x}\%$ – планируемая «точность» опыта.

Например, при учете 65 делянок ячменя рекогносцировочного посева получены следующие показатели:

– средняя урожайность $\bar{X} = 27,8$ ц/га;

– стандартное отклонение $S = 2,8$ ц/га;

– коэффициент вариации $V = \frac{2,8 \cdot 100}{27,8} = 10,07\%$.

При планируемой «точности» опыта $S\bar{x}\% = 5$ необходимо 4 повторности:

$$n = \left(\frac{v}{S\bar{x}\%} \right)^2 = \left(\frac{10,07}{5} \right)^2 = \frac{101,40}{25} \approx 4.$$

Обычно в опытах рекомендуется четырех-, шестикратная повторность. От дальнейшего увеличения числа повторностей ошибка в опытах снижается незначительно. В многофакторных многовариантных опытах, где изучается действие и взаимодействие количественных факторов в широком диапазоне их градаций (4–6 доз), допускается двух-, трехкратная повторность.

Выделенный под закладку длительного опыта участок почвы тщательно изучается по строению почвенного профиля, механическому составу, агрохимическим (гумус, азот общий и легкогидролизуемый, общие и подвижные запасы P_2O_5 и K_2O , рН, степень насыщенности основаниями и др.), физическим (плотность, объемный вес, агрегатный состав, аэрация, удельное сопротивление и др.), водно-физическим (полная и полевая влажность, влажность завядания и др.) и микробиологическим (состав и активность микрофлоры) свойствам.

Неоднородность почвенного плодородия участка может быть закономерной и случайной. Закономерное варьирование обычно проявляется в одном направлении — возрастая или снижаясь. Закономерное варьирование в обязательном порядке учитывают при планировании размещения вариантов в опыте. По данным В. Н. Перегудова (1968), закономерный фактор может достигать 70 % общего варьирования, а случайный — только 30 %. Закономерное варьирование плодородия почв чаще всего отмечается на склонах. На таких участках рекомендуется применять удлиненные делянки, расположенные длинной стороной вдоль склона.

Случайное варьирование, вследствие неоднородности почвенного покрова, проявляется на всех таких почвах. Уровень варьирования определяется как природными, так и антропогенными факторами. Полагают (В. Е. Ещенко, М. Ф. Трифонова и др., 1979), что ошибки опыта, связанные со случайным варьированием, уменьшаются обратно пропорционально корню квадратному от числа повторностей (Vn). Важным фактором уменьшения такой ошибки является случайное (рандомизированное) размещение вариантов (делянок) на опытном участке.

Систематические ошибки влияют на точность определения средних арифметических и не могут взаимно компенсироваться.

Грубые ошибки — это нарушения в процессе закладки и проведения опытов, учетов и наблюдений, проведения анализов. Такие ошибки приводят к браковке отдельных делянок, повторений или всего опыта.

Случайные ошибки определяются неуправляемыми факторами и, по существу, являются неизбежными. На их величину оказывает влияние случайное варьирование плодородия почвы или индивидуальная изменчивость растений. Основная особенность случайных ошибок — взаимная компенсация и их уменьшение при увеличении наблюдений (повторностей). Случайные ошибки можно отделить от общего варьирования методами математической статистики.

Обычно на небольших участках изменчивость урожаев меньше, чем на крупных. Поэтому желательно опыты закладывать компактно, на ограниченной площади.

Методика закладки полевого опыта. Очень важно правильно составить схему опыта, чтобы все включенные в нее варианты можно было сопоставить, а эффективность любого дополнительного приема легко вычленить. Следовательно, в опыте необходимо соблюдать принцип единственного различия.

Обычно точность полевого опыта уменьшается с увеличением числа вариантов (табл. 1).

1. Зависимость точности опыта от числа вариантов (по Н. Ф. Деревецкому, 1962)

Число вариантов	Точность опыта, %	Число вариантов	Точность опыта, %
2	6,4	9	7,2
3	6,5	12	7,9
4	6,8	16	8,7
6	6,9	24	8,9

В опытах рекомендуется иметь не больше 12 вариантов. При большем числе вариантов следует ввести 1–2 дополнительных контроля, использовать метод расщепленных делянок. При закладке многофакторных опытов можно заложить не один, а 2–3 полевых опыта. При наличии крупных делянок с увеличением числа вариантов ошибка опыта возрастает.

Если вариантов в опыте очень мало, например 2–3, то необходимо больше повторностей, чтобы иметь достаточное число наблюдений для правильной оценки ошибки опыта.

Повторностью опыта на территории называют число одноименных делянок каждого варианта, а повторностью опыта во времени — число лет исследования технологических приемов, видов и сортов культур, севооборотов, систем земледелия и т. д. Повторность вариантов опыта на площади позволяет полнее охватить пестроту почвенного плодородия и получить более достоверные данные; повторность во времени позволяет установить взаимодействия и последствия изучаемых факторов на плодородие почвы и окружающую среду в разных метеорологических условиях.

Простые однофакторные и небольшие многофакторные полевые опыты проводят при четырех–шестикратной повторности; многофакторные многовариантные опыты по изучению количественных факторов можно проводить в двух–трехкратной повторности методом блоков, используя теорию смешивания для группировки вариантов в блоках.

При мелкоделяночных опытах (до 10 м²) и недостаточно выровненных по плодородию земельных участках применяют шести–восьмикратную повторность для доказательства незначительных эффектов изучаемых приемов (микроудобрений, стимуляторов роста и др.).

Проведение опытов без повторений допускается в предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытах.

При планировании стационарных опытов количество повторностей определяется на основе статистического анализа дробного учета урожайности рекогносцировочного или уравнительного посева. Необходимое количество повторностей определяется по двум величинам: коэффициенту варьирования урожайности (V , %) и задачей «точности» опыта (S_{\pm} , %) — относительной ошибки средней (см. раздел «Основы статистического анализа результатов исследований»). Показатель «точности» опыта зависит от эффективности изучаемых приемов: чем больше эффект, тем больше можно принимать показатель «точность» опыта. Так, при ожидаемой прибавке продуктивности посевов более 25 % от контроля «точность» опыта достаточна на уровне 6–8 %; при прибавках

15–25, 10–15, 6–10 % «точность» опыта может составлять соответственно 5–6, 3–5 и 2–3 %.

Количество повторностей (n) определяется по соотношению:

$$n = \left(\frac{V}{S \pm \%} \right)^2.$$

Например, при необходимой «точности» опыта 5 % и коэффициенте вариации 12 % необходимо 6 повторностей:

$$n = \left(\frac{12}{5} \right)^2 = \left(\frac{144}{25} \right) \approx 6.$$

Для этого, чтобы уменьшить количество повторностей и соответственно объем работ, требуется более выровненный по плодородию участок.

Расположение делянок и их форма. Делянки располагают только параллельно склону, при наличии леса или лесополос – перпендикулярно к ним. Делянки длинной стороной располагают в направлении, где больше изменяется плодородие почвы.

Ширина делянок должна быть кратной захвату сельскохозяйственных машин, чтобы все работы по обработке почвы, посеву, уходу за посевами и уборке можно было максимально механизировать. Лучшее соотношение ширины и длины делянок 1 : 5; при широких боковых защитных полосах делянки могут быть квадратными.

В научных исследованиях широко используют делянки размерами 50–100 м², а на первоначальных этапах работы — 10–50 м². Делянки меньше 10 м² обычно применяют в микрополевых опытах или при ограниченном количестве посевного материала.

При определении размера делянок необходимо учитывать ширину междурядий пропашных культур, густоту стояния растений, возможность взаимного затенения низкорослых культур высокорослыми. Например, для кукурузы принято, чтобы на делянке было не менее 60 растений. В то же время, чем больше выращивается растений на единице площади, тем меньше может быть размер делянок. Для сравнения способов обработки почвы размер делянок в ряде случаев увеличивают до 300–500 м².

Более крупные делянки целесообразно закладывать при проведении длительных стационарных опытов, что позволяет в перспективе ис-

пользовать метод расщепленных делянок для уточнения приема на фоне длительно применявшегося.

Для устранения взаимного влияния рядом расположенных делянок, выделяют защитные полосы — боковые и концевые. Боковые защитные полосы должны полностью исключать взаимовлияние растений, выращиваемых на соседних делянках, перенос удобрений с делянки на делянку и другие воздействия. Обычно размер боковых защиток колеблется с каждой стороны делянки от 0,5 до 1 м. В опытах с орошением или применением гербицидов с помощью обычных опрыскивателей ширину боковых защиток увеличивают до 2–3 м, а иногда и более. Концевые защитки обычно делают размером до 1 м.

В опытах по сортоиспытанию боковые защитки обычно не выделяют, а делают между вариантами дорожки шириной 20–40 см. Однако при сравнительном испытании видов защитные полосы необходимы, так как различные культуры могут оказать существенное воздействие на урожайность друг друга.

Многолетние опыты (продолжительностью 10–50 лет) обычно закладывают на стационарных участках, где изучают действие нескольких приемов или их комплекса с неперменным учетом длительного последствия. Многолетние опыты закладывают и на нестационарных участках, но при этом для получения достоверных результатов их повторяют в пространстве и во времени 3–4 раза. В длительных опытах (свыше 50 лет) определяют действие, взаимодействие и последствие систематически применяемых приемов или их комплексов на плодородие почв, качество и количество урожая.

В однофакторных опытах изучают действие на какую-либо культуру одного фактора; в многофакторных — устанавливают действие и взаимодействие двух или нескольких факторов. Многофакторные опыты, где действие какого-либо приема изучают при изменении других агротехнических приемов, должны иметь схемы с включением всех возможных сочетаний изучаемых факторов. Часто многофакторные опыты закладывают методом неполных повторений (блоков), при этом опыт разбивают на несколько равноценных частей. Иногда для уменьшения количества вариантов закладывают синтетические опыты, в которых

сокращают некоторые варианты, однако при этом снижается достоверность выводов.

Полевые опыты располагают на одной площади методом организованных повторностей, включающих все варианты. Размещение бывает сплошным, когда все повторности объединяют территориально. При значительной пестроте поля по плодородию целесообразно размещение, когда повторности по одной или несколько располагают в разных частях поля. Разбросное размещение повторностей обычно бывает вынужденным.

При изучении эрозионных процессов и их влияния на продуктивность культур разбросное размещение повторностей является обычным.

Основные методы размещения вариантов на делянки опытного поля: **стандартный, систематический и рандомизированный.**

Стандартный метод предполагает частое (через 1–2 варианта) размещение контроля (стандарта). Используют преимущественно в селекционной работе.

Систематический метод предусматривает неизменный порядок расположения вариантов в каждом повторении, т. е. неизменную систему. Размещение вариантов может быть последовательным в один ярус и в шахматном порядке при расположении повторений в несколько ярусов. При ярусном расположении повторений варианты в повторениях разных ярусов сдвигаются. Для определения интервала, на который требуется сдвинуть варианты, количество вариантов опыта делится на число ярусов. Так, при восьми вариантах и двухъярусном размещении повторностей делянки во втором ярусе необходимо сдвинуть на 4 номера ($8 : 2 = 4$) (рис. 3).

Первая повторность								Вторая повторность								1-й ярус
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
Третья повторность								Четвертая повторность								2-й ярус
5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	

Рис. 3. Схема размещения опыта в шахматном порядке

Отмечается (Б. А. Доспеховым, 1979), что важное достоинство этого метода — простота, а главный недостаток — ненадежность в статистической оценке ошибки опыта.

Случайный (рандомизированный) порядок размещения вариантов внутри каждого повторения определяется по жребию. Каждый вариант имеет равную возможность попасть на любую делянку, тогда как при систематическом размещении такая возможность исключена. Рандомизированное размещение варианта обосновано Р. А. Фишером (Англия) на основе разработанного им дисперсионного анализа. При рандомизированном размещении вариантов точность дисперсионного анализа повышается. Примеры размещения делянок разными методами приведены на рисунке 4.

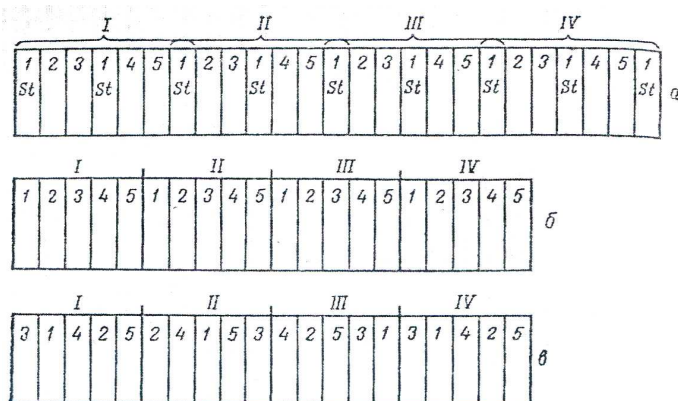


Рис. 4. Методы размещения пяти вариантов по делянкам четырех повторений полевого опыта: а – стандартный, б – систематический, в – рандомизированный

Рандомизация вариантов проводится или посредством жребия с использованием карточек с нумерацией вариантов, или посредством таблицы случайных чисел.

Однако, по мнению ряда исследователей (С. В. Щерба, 1968), преимущество случайного расположения делянок, или рандомизации, имеет достаточно спорный характер. Исходная предпосылка о лучшем охвате пестроты опытного участка может быть применима при размещении опыта на полях с неизвестной дифференциацией по плодородию. При известной, выявленной с учетом рекогносцировочных посевов, сознательное (систематическое) расположение опыта представляет явные преимущества. Рандомизация наиболее эффективна при размещении делянок методом неорганизованных повторений, рандомизированных повторений, методами латинского квадрата и прямоугольника.

Метод неорганизованных повторений (полная рандомизация) является простейшим, когда варианты на делянках опытного участка

размещаются совершенно случайно без выделения повторностей. При этом каждый вариант занимает столько делянок, сколько планируется раз (3, 4, 5). Эффективен при небольшом числе изучаемых вариантов (2–4), например три варианта в четыре повторностях ($3 \times 4 = 12$ делянок) (рис. 5).

2	1	3	2
1	3	2	1
3	1	2	3

Рис. 5. Схема расположения опыта при полной рандомизации
Применяется в основном в вегетационных опытах

Метод рандомизированных повторений наиболее распространен в опытной работе: в каждом повторении варианты размещаются по делянкам в случайном порядке. Повторности располагаются в один или несколько ярусов. При невыравненности участка по плодородию повторения можно размещать по полю отдельно или блоками.

Размещение опытных делянок **методом латинского квадрата** позволяет в значительной степени устранить влияние пестроты почвенного плодородия на точность опыта по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Варианты размещаются внутри столбцов и рядов случайно по жребию (рис. 6).

		Столбцы				
		1	2	3	4	5
Ряды	1	2	1	3	4	5
	2	3	2	5	1	4
	3	4	5	1	3	2
	4	1	4	2	5	3
	5	5	3	4	2	1

Рис. 6. Схема расположения опыта методом латинского квадрата (5 × 5)

При расположении опыта методом латинского квадрата число повторений должно быть обязательно равно числу вариантов. В данном примере число повторений равно пяти, а количество делянок — $5 \times 5 = 25$.

Размещение опыта методом латинского квадрата целесообразно при мелкоделяночных опытах, а также при небольшом количестве вариантов, когда необходимо доказать небольшие различия в действии изучаемых факторов. Обычно метод латинского квадрата применяется в опытах с пятью–семью и не менее четырех вариантов. При большом количестве вариантов площадь опыта существенно возрастает за счет большего количества повторностей, чем это требуется.

Размещение опыта **методом латинского прямоугольника** позволяет использовать преимущество латинского квадрата, избегая лишних повторностей. При этом количество вариантов должно быть кратным числу повторностей. Например, при трехкратной повторности этим методом можно заложить опыт с 6, 9, 12, 18 и т. д. вариантами; при четырехкратной — с 8, 12, 16, 24 и т. д. вариантами. Таким образом, число вариантов должно делиться без остатка на число повторностей. Частное от деления дает число делянок, на которое необходимо расщепить столбец соответствующего латинского квадрата. Так, при 12 вариантах опыта в четырехкратной повторности каждый столбец латинского квадрата 4×4 необходимо разделить в вертикальном или горизонтальном направлении на три полосы ($12 : 4 : 3$) (рис. 7).

Ряды	Столбцы											
	I			II			III			IV		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	4	9	11	1	7	2	8	12	10	6	3	5
II	1	5	2	6	10	12	3	4	7	11	9	8
III	12	6	8	3	4	9	1	5	11	2	7	10
IV	3	7	10	5	8	11	9	2	6	4	1	12

Рис. 7. Схема расположения опыта методом латинский прямоугольник
 $4 \times 4 \times 3 = 48$ делянок; $4 \times 3 = 12$ — количество вариантов

Варианты на делянках рандомизируются так, чтобы ряд и столбец имели полный набор всех вариантов.

При закладке многофакторных опытов широко используется **метод расщепленных делянок**, в котором делянки одного варианта используются как блоки для другого. В многофакторном опыте делянки первого порядка делятся в вертикальном или горизонтальном направле-

ниях на делянки второго, а делянки второго порядка — на наиболее мелкие третьего порядка, например (по Б. А. Доспехову, 1979) (рис. 8).

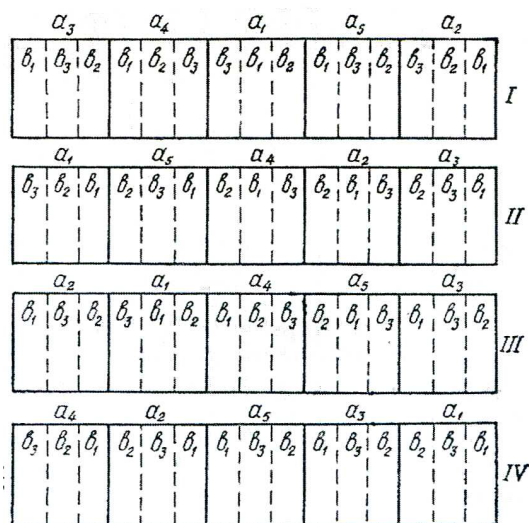


Рис. 8. Схема расположения двухфакторного опыта (5×3) методом расщепленных делянок, повторность четырехкратная

Опыт включает 5 вариантов обработки почвы (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) на фоне трех вариантов доз удобрений (b_1, b_2, b_3) при четырехкратной повторности. Всего делянок $5 \times 3 \times 4 = 60$.

Варианты по главным делянкам первого порядка (a_1, a_2 и т. д.) и делянкам второго порядка размещены рандомизированным методом. Варианты делянок первого порядка рандомизируются отдельно по каждому повторению, а второго порядка рандомизируются для каждой главной делянки или целого повторения.

Схема последовательного наложения вариантов в трехфакторном опыте с 24 вариантами ($4 \times 12 \times 2$) приведена на рисунке 9 (по Б. А. Доспехову, 1979).

Метод смешивания. В многофакторных опытах с увеличением факторов и вариантов существенно увеличивается площадь опытного участка, что в условиях неоднородности почвенного плодородия ведет к снижению точности опыта. В этом случае для повышения точности опыта применяется метод смешивания, при котором варианты в каждом повторении объединяются в группы (блоки) так, чтобы разность между группами представляла меньший интерес, чем главные эффекты и взаимодействия между двумя факторами внутри блока (С. В. Щерба, 1968).

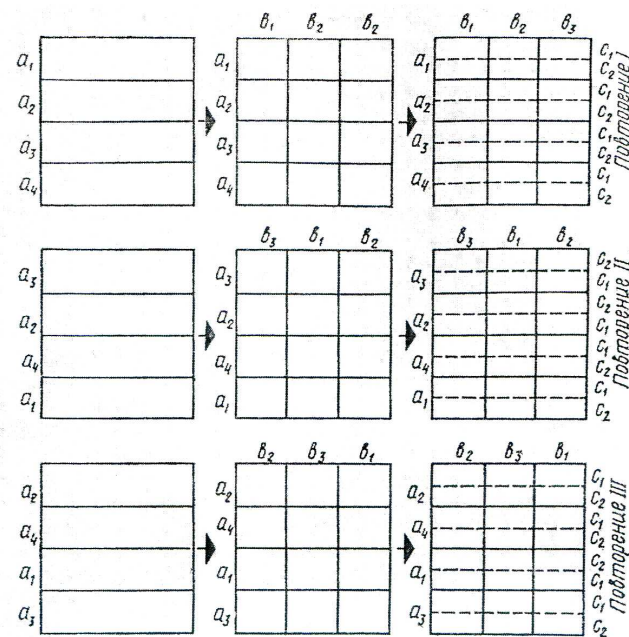


Рис. 9. Схема последовательного наложения вариантов в трехфакторном опыте (4 × 3 × 2)

Методика и отборы почвенных образцов. Для характеристики почвы необходимо установить ее тип и механический состав, а также получить данные основных агрохимических свойств (содержание гумуса, рН солевой вытяжки, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований, степень насыщенности основаниями, обменная кислотность, содержание подвижного алюминия и доступных для растений форм фосфора и калия, молибдена, бора и других микроэлементов, в некоторых случаях — общий и подвижный азот и т. д.). Методы агрохимических анализов почв различных типов различны. Так, содержание усвояемого фосфора в дерново-подзолистых почвах определяется по методу А. Т. Кирсанова, а в карбонатных сероземах и каштановых почвах — по Б. Л. Мачигину (Е. В. Аринушкина, 1970; А. В. Петербургский, 1968).

Если необходимо, определяют физические (объемная масса, пористость и др.) и водные (наименьшая влагоемкость, капиллярная влажность, влажность завядания и др.) свойства почвы.

Почвенный образец должен быть типичным для участка. В зависимости от цели исследования берут индивидуальные или смешанные образцы. Для агрохимической характеристики почвы (определение со-

держания фосфора, калия, кислотности и др.) используют обычно смешанные образцы.

При постановке опытов с удобрениями, особенно длительных, необходимо провести тщательное агрохимическое обследование участка с целью определения его однородности по плодородию. Для этого опытный участок разбивают на квадраты площадью 400–600 м² и на каждом из них отбирают смешанные образцы. В случае больших различий по плодородию или содержанию отдельных элементов питания в почве опыты с удобрениями переносят на другие, более выравненные участки.

Для отбора почвенных образцов используют бур конструкции Осипова, тростьевой бур и др. Уколы буром можно делать равномерно (рассеянно) по всему участку, крестообразно, по диагонали или по оси участка (вдоль одной из его сторон). Количество уколов буром зависит от площади участка (делянки). Обычно смешанный образец состоит из 5–10 или 20 индивидуальных проб. При работе тростьевым буром для получения смешанного образца отбирают 18–20 проб на глубину пахотного горизонта (0–20 см). В зависимости от цели исследования иногда возникает необходимость брать почвенные образцы подпахотного горизонта на глубину 20–40 см. Индивидуальные пробы ссыпают на пленку, перемешивают и берут смешанный образец. Масса его должна составлять 300–400 г.

Образец помещают в стеклянную банку или в полиэтиленовый мешок с этикеткой. На этикетке пишут номер деланки, повторность, глубину взятия образца, наименование культуры, дату.

Образцы из подпахотного горизонта обозначают тем же номером с добавлением буквы «а». Если по механическому составу почва участка неоднородна, то смешанный образец брать нельзя. В этом случае берут индивидуальный образец с каждой почвенной разности. На опытных деланках образцы отбирают с двух несмежных повторностей.

Большинство анализов проводят с почвой, доведенной до воздушно-сухого состояния. Содержание нитратов и аммиака определяют в сырых, только что взятых образцах почвы.

Если нет возможности провести анализы на нитраты в свежих образцах, их следует сразу же после доставки с поля расстелить тонким

слоем на бумаге и довести до воздушно-сухого состояния в проветриваемом помещении или под навесом (избегая прямых солнечных лучей). Хранить влажные почвенные образцы нельзя, так как под влиянием различных микробиологических процессов могут изменяться химические свойства почвы. Помещение для сушки образцов должно быть сухим, хорошо проветриваемым и защищенным от доступа паров кислот, аммиака и других газов.

Из воздушно-сухого образца отбирают для анализа среднюю пробу. Для этого почву тщательно перемешивают, разравнивают на листе бумаги, придавая ей форму квадрата. Квадрат по диагонали делят на четыре части, две противоположные части берут для измельчения. Если предполагается определить гумус, общий азот или механический состав почвы, то берут среднюю пробу 25–30 г, а оставшуюся почву образца растирают в фарфоровой ступке или на специальных машинах. Для всех анализов (исключение — на содержание гумуса и валового азота) почву просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Растирать и просеивать почву продолжают до тех пор, пока на сите ничего не останется или останутся лишь каменистые частицы крупнее 1 мм.

Подготовленную почву ссыпают в банку с притертой пробкой или в картонную коробку, куда помещают этикетку. Нерастертую часть почвенного образца заворачивают в бумагу и помещают в ту же коробку.

При подготовке почвы к анализу на содержание гумуса обязательно отбирают из почвы корешки и другие органические остатки. Почву осторожно разрушают фарфоровым пестиком и повторно отбирают корешки. Затем почву растирают в фарфоровой ступке и пропускают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Из растертой почвы берут среднюю пробу массой около 10 г и снова удаляют растительные остатки. Для этого почву расстилают тонким слоем на восковке и на высоте примерно 5 см проводят эбонитовой палочкой, предварительно наэлектризованной. Оставшиеся мелкие кусочки корешков, не удаленные до этого из почвы, пристанут к палочке. Нельзя очень близко проводить палочкой над почвой, так как к ней могут прилипнуть илестые частицы.

После отбора растительных остатков почву еще раз растирают в фарфоровой или агатовой ступке и пропускают через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм.

Помимо агрохимической характеристики почвы, необходимо иметь сведения по истории опытного участка (предшественники, виды, нормы и дозы внесенных органических и минеральных удобрений за последние три года; для дерново-подзолистых почв — время известкования и нормы извести). В полевой журнал вносят данные по обработке почвы и подготовке ее к посеву (тип орудия, глубина, время обработки и т. д.).

Для характеристики метеорологических условий пользуются данными ближайшей метеостанции.

Техника закладки и проведения полевого опыта.

Мероприятия по закладке полевого опыта включают:

– составление плана опыта с указанием границ опытного участка, повторностей, общей и учетной площади делянок, поворотных полос в метрах и положением относительно сторон света; делянки и повторности должны быть пронумерованы;

– подготовку принадлежностей и инструмента для выделения опытного участка в натуре (мерная стальная лента, крепкий длинный шнур, колышки, вешки, реперные знаки, прибор для определения прямых углов и др.).

Выделение опытного участка, повторностей и делянок проводится с точным соблюдением прямых углов и размеров их сторон. Прямые углы намечаются с помощью теодолита или экера. При их отсутствии прямые углы можно выделить с помощью мерной ленты, пользуясь правилом прямоугольного треугольника: $c^2 = a^2 + b^2$ — квадрат гипотенузы (c^2) равен сумме квадратов катетов ($a^2 + b^2$). От исходной точки основной линии отбивают, например, под условным прямым углом две линии (катеты) длиной 4 и 3 м. Длина линии (гипотенуза), которая соединяет условные точки Д и С, должна составлять 5 м. При этом угол должен составить 90° (рис. 10).

Выделение контура участка начинают прокладкой по шнуру или вешкам прямой линии АД. От точек А и Д восстанавливают под прямым углом боковые линии АВ и ДС. При правильном построении прямых углов длины линий АД и ВС должны совпадать. После выделения общего контура его разбивают на повторения и делянки по шнуру и мерной ленте. Колышки на границах делянки необходимо вбивать точ-

но по отметке с одной стороны ленты. На кольшках указывают номера делянок (вариантов) и повторений. Границы по всем четырем углам опытного поля фиксируют постоянными реперами. Пример размещения опыта в натуре может иметь следующий вид (рис. 11, по Б. А. Доспехову, 1979).

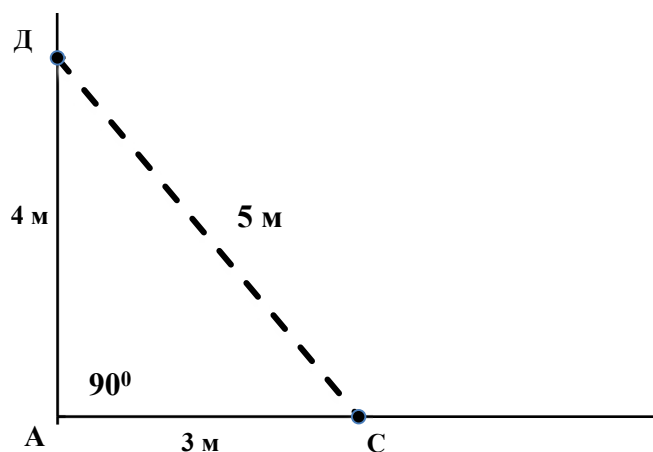


Рис. 10. Отбивка прямого угла в полевых условиях

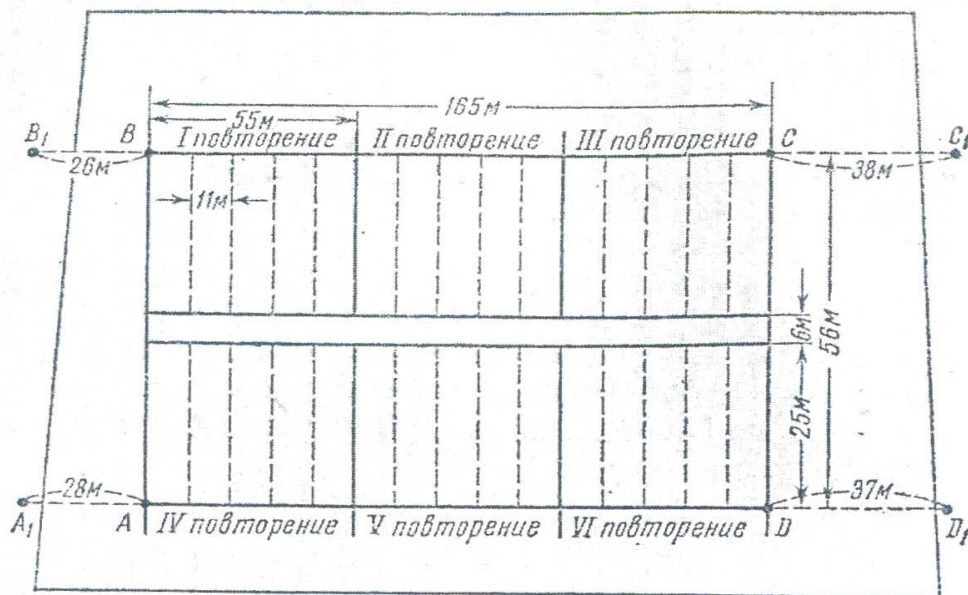


Рис. 11. Схема выделения опытного участка

Для этого по углам опыта или за пределами опытного участка после разбивки границы опыта должны быть надежно зафиксированы с

таким расчетом, чтобы в любой момент с необходимой точностью можно было восстановить местоположение повторностей и делянок.

Устанавливают реперы, не мешающие проходу технических средств. В качестве реперов используют металлические трубы, входящие одна в другую, металлические прутья, толстую проволоку, цепи и др.

При использовании малогабаритной техники ширина разворотных полос составляет 4–7 м, при работе тракторных агрегатов — 10–12 м. На разворотных полосах высевают культуры, изучаемые в опыте, а в стационарных многофакторных опытах — однолетние травы.

Все агротехнические работы на опытном участке (обработка почвы, внесение удобрений и мелиорантов, средств защиты растений и др.), не подлежащие изучению, должны проводиться одновременно, не допуская существенного разрыва во времени. Так, например, при внесении удобрений, посеве, внесении средств защиты, орошении перерыв в проведении работ на 8–10 часов может приводить к существенным различиям в росте и развитии растений.

Все работы по созданию оптимального агротехнического фона для выявления достоверного эффекта от изучаемых факторов должны проводиться качественно в соответствии с существующими стандартами.

Весовые приборы, используемые для взвешивания семян, минеральных и органических удобрений, средств защиты растений и других материалов должны пройти поверку и соответствовать стандартам на их изготовление и применение.

После посева и появления всходов выделяют защитные полосы. Для этого используют механические фрезы, агрегатируемые с малогабаритными тракторами. При их отсутствии пробивают мотыгой или ручным планетом дорожку шириной 15–20 см.

Навоз вносят полуперепревшим, тщательно перемешанным. О содержании питательных веществ в навозе судят по данным анализа средней пробы. Делянку перед внесением навоза маркируют на квадраты по 10 м². Навоз отвешивают для каждого квадрата, разбрасывают и в тот же день запахивают.

Минеральные удобрения вносят по действующему веществу. Количество удобрений на делянку (X, кг) рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{a \cdot c}{100 \cdot b},$$

где a – доза действующего вещества, кг/га;

b – содержание действующего вещества в удобрении, %;

c – площадь делянки, м².

Удобрения отвешивают в мешки с этикеткой. Границы делянки со всех сторон отмечают шнуром, удобрения вносят в два приема, как правило, в тихую безветренную погоду.

Вспашку почвы проводят хорошо отрегулированным плугом. На делянках недопустимы развальные и свальные полосы. Когда нет оборотного плуга, вспашку проводят в одну сторону или поперек будущих делянок с размещением свальных и развальных борозд на разворотных полосах между ярусами опыта или отдельными опытами.

Норму высева семян (H , кг/га), рассчитывают по формуле:

$$H = \frac{K \cdot T}{G},$$

где K – число высеваемых семян, млн/га;

T – масса 1000 семян, г;

G – посевная годность семян, %.

Сеялка должна быть тщательно отрегулирована на норму высева и на глубину заделки семян.

После завершения подготовительных работ и закладки опыта повторности и делянки вновь выделяются колышками и этикетками с указанием вариантов. В начале опытного поля устанавливают большую этикетку с названием опыта.

Уход за растениями на опытном поле проводится в соответствии с технологическими картами их возделывания.

Наблюдения и учеты в полевых опытах. Наблюдения за ростом и развитием растений в зависимости от погодных и почвенных условий, влияния изучаемых факторов и их взаимодействия являются важной составляющей полевого опыта. Такие наблюдения позволяют с высокой долей вероятности выявить причины и следствия действия отдельных факторов или их взаимодействие на продукционные процессы, качество получаемого сырья. При планировании наблюдений необходимо учитывать следующее: 1) какие наблюдения, анализы и учеты включить в программу; 2) сроки их проведения; 3) оптимальный объем наблюдений.

Выбор наблюдений связан с целями и задачами исследований. Так, при изучении удобрений планируются наблюдения за содержанием подвижных форм питательных веществ и влажности в почве; при изучении агротехнических приемов — наблюдения за физиологией развития растений; средств защиты растений — количеством вредных организмов и т. д. Наблюдения и учеты в полевом опыте делятся на следующие группы:

– погодные условия (тепло-, и влагообеспеченность, вегетационного периода в динамике, освещенность, переход температур через +5 и +10 °С, длина вегетационного периода, сумма положительных температур, температура почвы, инфильтрация влаги почвой, приход ФАР и др.);

– почвенные условия (механический состав, объемная и удельная масса почвы, скважность общая и капиллярная, полевая полная и наименьшая влагоемкость, запасы влаги в почве, влажность устойчивого завядания, глубина гумусного слоя, уровень грунтовых вод, содержание гумуса, азота, фосфора, калия, гидролитическая и обменная кислотность, степень насыщенности основаниями, содержание микроэлементов и др.);

– растительный покров и его состояние (лабораторная и полевая всхожесть семян, вес 1000 семян, хозяйственная годность, норма высева, густота стояния растений, площадь листьев, высота растений, интенсивность фотосинтеза, коэффициент поглощения ФАР посевами, динамика накопления зеленой массы и сухого вещества, засоренность, вес сухой массы сорняков, степень поражения растений болезнями и вредителями, сухая масса корней и глубина их проникновения в почву и т. д.);

– фенологические наблюдения (посев, всходы, формирование вегетативных и генеративных органов);

– качественные показатели растительного сырья (содержание сухого вещества, клетчатки, жира, протеина, нитратов, золы, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), каротина, фосфора, калия, кальция, микроэлементов, валовой и обменной энергии, кормовых единиц и др.);

– экономическая и агроэнергетическая эффективность (затраты материально-технических и трудовых ресурсов на единицу площади в стоимостных и энергетических эквивалентах, стоимость полученного

растительного сырья в стоимостных и энергетических эквивалентах, окупаемость затрат, чистый доход, рентабельность и др.).

Основная задача наблюдений и учетов в полевом опыте: при минимальном объеме выборки получить максимально полную и достоверную информацию обо всей совокупности наблюдаемых объемов (генеральной совокупности). Для оптимизации объема выборки применяются методы статистического анализа на основе уровня варьирования изучаемого признака и планируемой «точности» наблюдений и учетов (см. раздел 6). Для малых выборок ($n < 30$) применяется следующая формула:

$$n = t^2 \left(\frac{V}{S\bar{x}\%} \right),$$

где n – объем выборки в единицах;

v – коэффициент вариации признака, %;

$S\bar{x}\%$ – планируемая относительная ошибка учетов и наблюдений;

t – стандартное значение критерия Стьюдента.

Значение критерия t определяется по таблице Стьюдента. Приближенное значение критерия t при уровне значимости 0,95 можно определить по формуле:

$$t_{0,95} = 2 + \frac{n}{n-1},$$

где n – фактический объем выборки;

$n - 1$ – число степеней свободы.

Для объема выборки более 30 значение постоянно: для уровня значимости 0,95 равно 2, для $t_{0,99} = 2,6$.

Значение относительной ошибки определяется исследователем в зависимости от планируемой точности. При высокой точности ошибка не должна превышать 2–3 %, средней — 5–6 %. В полевых опытах с кормовыми культурами относительная ошибка не должна превышать 7 %.

Коэффициент вариации определяют по формуле:

$$V = \frac{S \cdot 100}{\bar{x}} \%,$$

где S – стандартное отклонение вариационного ряда;

\bar{x} – средняя арифметическая вариационного ряда;

100 – коэффициент для перевода в проценты.

Приближенное значение стандартного отклонения можно определить по формуле:

$$S = \frac{X_{\max} \cdot X_{\min}}{6}$$

где X_{\max} и X_{\min} – максимальное и минимальное значения показателя вариационного ряда;

6 – постоянное число ($-3\sigma + 3\sigma$).

Приближенное значение средней арифметической определяется по формуле:

$$\bar{X} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2},$$

где X_{\max} и X_{\min} – максимальное и минимальное значения вариационного ряда.

Приближенные расчеты средней (\bar{x}) и стандартного отклонения (S) применяются для определения показателей, не требующих высокой точности. Для данных, требующих статистической обработки, определяют более точные показатели средней и стандартного отклонения. Например, необходимо определить объем выборки (n) для определения высоты растений кукурузы на уровне вероятности $P_{0,95}$. Для этого на одном из вариантов измеряют высоту примерно 10 случайных растений, определяют среднюю высоту, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

Высота растений (см): 201, 208, 215, 227, 232, 239, 246, 250, 252, 255.

Средняя высота: $\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{2325}{10} = 232,5$ см.

Стандартное отклонение:

$$S^2 = \frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{(-31,5 - 24,5 - 17,5 - 5,5 - 0,5 + 6,5 + 13,5 + 17,5 + 19,5 + 22,5)}{10 - 1} = \frac{3346,5}{9} = 371,83,$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{371,83} = 19,28 \text{ см.}$$

Коэффициент вариации: $V = \frac{S \cdot 100}{\bar{x}} = 8,29 \%$.

Объем выборки: $n = t^2 \left(\frac{v}{S\bar{x}\%} \right) = 1,96^2 \cdot \left(\frac{8,29}{5} \right)^2 = 3,84 \cdot \frac{68,72}{25} = 10,6 \approx 11$ растений.

где t – критерий Стьюдента или табулированная константа;

$t_{0,05} = 1,96$; $t_{0,01} = 2,58$.

При отборе образцов кукурузы на силос молочно-восковой спелости для определения сухого вещества (СВ) необходимы или уже извест-

ные объемы выборки или определяются опытным путем. Например, в каждом из 10 растений кукурузы содержание сухого вещества составляет (%):

18,5; 17,3; 17,2; 18,3; 17,5; 18,6; 17,7; 16,9; 18,1; 17,4.

Необходимо определить количество случайных растений в пробе для определения сухого вещества на уровне вероятности $P_{0,95}$.

Среднее содержание СВ: $\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{177,5}{10} = 17,75 \%$.

Стандартное отклонение:

$$S^2 = \frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n-1} = \frac{\Sigma(-0,85 - 0,55 - 0,45 - 0,35 - 0,25 - 0,05 + 13,5 + 0,55 + 0,75 + 0,80)^2}{10-1} =$$

$$\frac{0,72 + 0,30 + 0,20 + 0,12 + 0,06 + 0,0025 + 0,12 + 0,30 + 0,56 + 0,72}{9} = \frac{177,5}{9} = 0,34 \%$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,34} = 0,58 \%$$

$$\text{Коэффициент вариации: } V = \frac{S \cdot 100}{\bar{x}} = \frac{0,58 \cdot 100}{17,75} = 3,27 \%$$

Объем выборки для определения сухого вещества составит:

$$n = t^2 \left(\frac{v}{S\bar{x}\%} \right) = 1,96^2 \cdot \left(\frac{3,27}{3} \right)^2 = 3,84 \cdot \frac{10,69}{9} \approx 5.$$

Для определения сухого вещества в растениях кукурузы на силос в фазе молочно-восковой спелости необходимо примерно пять случайных растений.

При больших выборках ($n > 40-50$) стандартное отклонение вариационного ряда (\bar{x}) выборки равно стандартному отклонению (μ) генеральной совокупности. При этом для определения объема выборки критерии Стьюдента не применяются. Так, при определении количества повторений для закладки стационарного опыта на основе учета рекогносцировочного посева применяется формула:

$$n = \left(\frac{v}{S\bar{x}\%} \right)^2,$$

где v – коэффициент вариации урожайности;

$S\bar{x}\%$ – планируемая «точность» опыта.

Например, при учете 65 делянок ячменя рекогносцировочного посева получены следующие показатели:

– средняя урожайность: $\bar{x} = 27,8$ ц/га;

– стандартное отклонение: $S = 2,8$ ц/га;

– коэффициент вариации: $V = \frac{2,8 \cdot 100}{27,8} = 10,07 \%$.

При планируемой «точности» опыта $S_{\bar{x}}\% = 5$ необходимо четыре повторности:

$$n = \left(\frac{v}{S_{\bar{x}}\%} \right)^2 = \left(\frac{10,07}{5} \right)^2 = \frac{101,40}{25} \approx 4.$$

В период проведения в полевом опыте сопутствующих учетов и наблюдений определять оптимальные объемы выборки экспериментальным методом достаточно сложно. Поэтому в научных учреждениях необходимо создавать нормативную базу по уровням варьирования основных объектов наблюдения (продуктивность, биометрические показатели, свойства почвенного покрова, засоренность и т. д.). Наиболее целесообразным является создание специальных подразделений в крупных научных центрах по совершенствованию методических основ проведения полевых опытов и созданию нормативной базы опытного дела. Так, например, по данным кафедры земледелия и методики опытного дела ТСХА (Б. А. Доспехов, 1979) ориентировочно с разных мест делянки площадью 100–200 м² необходимо отбирать 8–12 проб (площадок); с площади меньше 100 м² — 6–8, а с площади более 200 м² — до 15–20 проб.

Уборка и учет урожая — важнейшие операции, завершающие наиболее результативную часть полевого опыта. Небрежность при выполнении этих работ может полностью исключить опыт.

Перед уборкой необходимо внимательно осмотреть все делянки опыта и оценить их пригодность для получения достоверных данных, убрать посеvy на защитных и поворотных полосах. При наличии на отдельных делянках или их части существенных отклонений от нормы делают выключки. На таких площадках урожайность не учитывают.

Основанием для выбраковки части или полных делянок являются причины, не связанные с действием изучаемого фактора: стихийные явления (смывы, размывы, градобитие и др.); потравы скотом, птицами, грызунами; ошибки при закладке и проведении опыта (просевы, изреживание при междурядных обработках, применение средств защиты растений и др.).

Общая площадь выключек не должна превышать 35–40 % учетной площади делянки. В опытах с пропашными культурами поправки на изреженность не делают. Применение поправок на изреживание допускается, если выпадение растений, не связанное с изучаемым фактором, не превышает 20 %, при более высокой изреженности выбраковывается вся делянка. При допустимом изреживании фактическую учетную площадь делянки рассчитывают по формуле (Б. А. Доспехов, 1979):

$$S = (P - H) \cdot П,$$

где P – расчетное число растений на делянке;

H – число недостающих растений;

П – площадь питания одного растения (м²).

Перед уборкой выпавшие растения подсчитывают и удаляют растения около пустых мест. Краевые растения не удаляют, если выпадения произошли перед уборкой. При равномерном выпадении растений по всей площади делянки в расчет принимается только половина погибших растений, поскольку около пустых мест сохранившиеся растения развиваются более интенсивно.

Урожай с опытного участка необходимо убрать в один день. Если это невозможно, убирают в один день все варианты одной повторности. Когда изучаемые приемы оказывают влияние на продолжительность вегетационного периода, уборку проводят по мере наступления технологической спелости урожая в данном варианте.

В исследовательской работе необходимо использовать только сплошной метод учета урожая со всей учетной площади делянки.

Применяемые методы учета урожая малыми пробными площадками (метровки, рядки, снопы) не обеспечивают надежность данных и приблизительно характеризуют величину урожая.

Малые пробные делянки применяются для характеристики роста и развития растений, накопления зеленой и сухой массы, ее качества в динамике в период вегетации.

На сплошных посевах однолетних и многолетних трав, зерновых пробные образцы перед уборкой составляют из нескольких горстей, не исключая сорные растения. Масса таких проб используется для определения ботанического состава ценозов, структуры урожая, отбора образцов на содержание питательных веществ, макро- и микроэлементов.

При учете урожая смешанных посевов многолетних и однолетних трав целесообразно брать два пробных снопа: для определения урожая сухой массы и для ботанического анализа урожая.

Пробные снопы берут на всех делянках опыта. Масса пробного снопа должна составлять около 1 % от зеленой массы со всей делянки (но не менее 1 кг). Его помещают в мешок (удобны марлевые), взвешивают на весах с точностью до 5 г.

При учете урожая зерновых специальными техническими средствами ширина делянки должна быть кратной рабочему захвату комбайна. После обмолота урожая с каждой делянки комбайн должен несколько минут проработать вхолостую. После взвешивания урожая с каждой делянки отбирают среднюю пробу для определения засоренности и влажности зерна.

Особенности роста урожайности пропашных культур (силосные, корнеплоды) изложены в соответствующих разделах. Весь урожай с учетной делянки взвешивается на весах, удовлетворяющих стандартные требования.

Полученные данные записываются в дневник и журнал полевого опыта. Исправление и корректировка данных первичного учета не допускаются.

3. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ

Методы изучения корневой системы растений имеют большое значение в опытах с севооборотами, разработке технологий возделывания кормовых культур, системах кормопроизводства. Органическое вещество, поступающее в почву с корневыми и пожнивными остатками, в значительной степени определяет интенсивность энергетического и вещественного баланса почвенного покрова, положительные тенденции почвообразовательного процесса и уровень плодородия почв.

Изучение морфологии корневой системы проводят на стенках почвенного разреза посредством отмывки корней струей воды. Этот метод более эффективен и менее трудоемок по сравнению с сухой раскопкой. Для отмывки корней на стенке траншеи применяют опрыскиватели большой емкости. Отмывку проводят струей воды сверху вниз. Корневая система четко обозначается на стенке траншеи, которую можно подсчитать, измерить, зарисовать или сфотографировать с помощью рамки с квадратными ячейками (рис. 12).

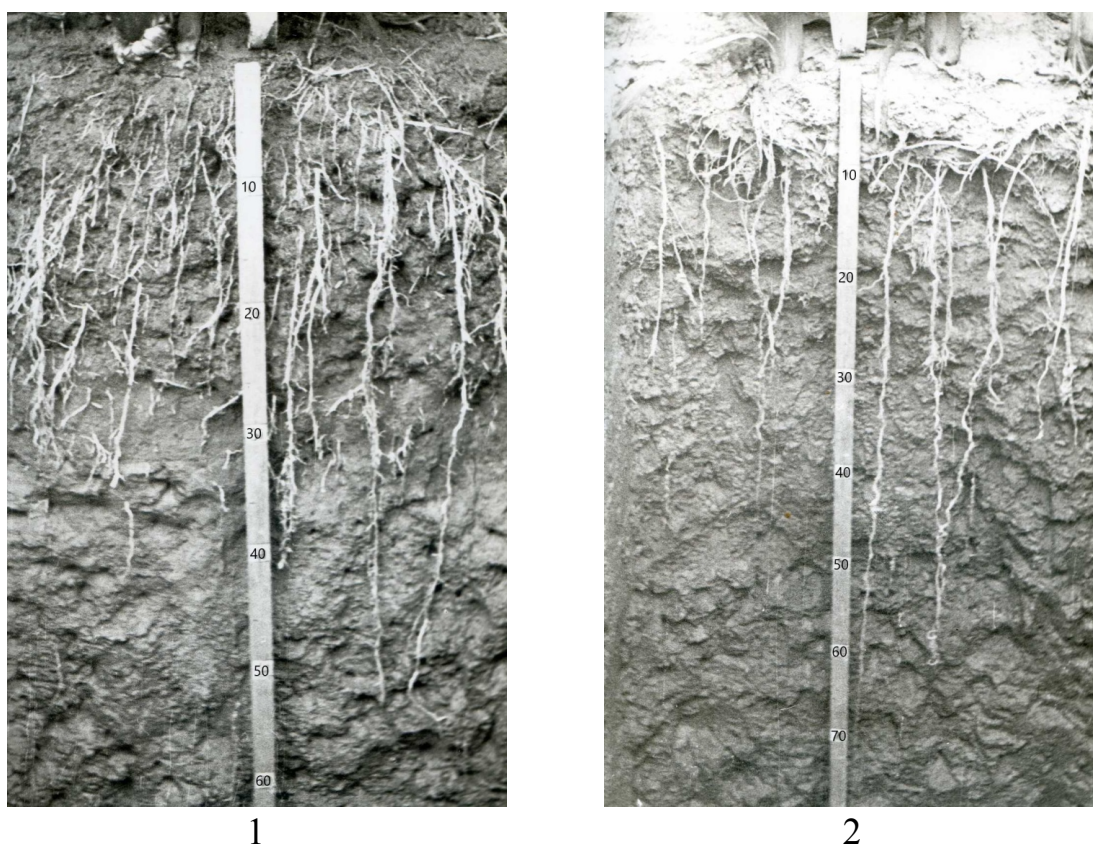


Рис. 12. Распределение корней кукурузы по почвенному профилю в зависимости от эрозии почвы: 1 – почва несмытая, 2 – почва смытая

Учет массы корней проводят в основном методом монолита. Монолит почвы определенного сечения и высоты, вырезанный на делянке с посевом или после уборки, делят при необходимости на слои или генетические горизонты и доставляют к месту отмывки. Корни и растительные остатки отмывают от почвы струей воды, группируют по фракциям, высушивают и взвешивают.

Высота почвенного монолита для однолетних полевых культур может составлять до 40–60 см, под многолетними травами и пропашными — до 80–100 см. Монолиты такой высоты лучше отбирать по стенкам почвенного разреза. Монолит почвы окапывают на необходимую глубину, стенку тщательно выравнивают по отвесу и линейке, зачищают до нужного размера и размечают по горизонтам или слоям. Монолиты отбирают с помощью контрольных прямоугольников с сечением, равным сечению монолита.

Отбор монолитов можно проводить рамочным способом по Н. З. Станкову. На место, выбранное для отбора монолита, накладывают рамку размерами 30,3 × 30,1 см (площадь 0,1 м²). Ножом длиной 10 см обрезают пограничную линию (слой 0–10 см), почву внутри рамки разрезают на куски и переносят в ящик или мешок. Затем вынимают слои 10–20, 20–30 и 30–40 см и доставляют к месту отмывки. Более глубокие слои брать этим способом невозможно.

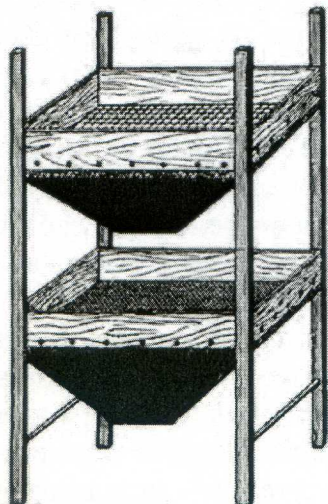
Дробные учеты массы корней можно проводить методом кубиков, площадок (полос). Можно также применять буровой метод учета корней с помощью стального бура конструкции С. С. Шаина. Такой бур забивают на глубину до 40 см. Наличие на одной стенке прорезей на расстоянии 10 см позволят делить монолит на слои. На запланированных делянках в двух повторностях отбирают не менее трех–четырёх монолитов прямоугольного сечения.

Отмывку монолитов проводят распыленной струей воды на специальных установках (рис. 13, по Б. А. Доспехову, И. П. Васильеву, А. И. Туликову, 1977).

Верхнее сито (металлическая сетка) имеет ячейки 2–4 мм, нижнее — 0,25–0,5 мм. При отмывке крупные корни остаются на верхнем, а мелкие — на нижнем ситах. На нижнем сите задерживаются также полуразложившиеся растительные остатки, мелкие частицы почвы. Для

отделения частиц почвы используют многократную отмывку в отдельной посуде.

Установка для отмывки корней:
верхний ящик с крупной сеткой,
нижний ящик с мелкой сеткой



Оборудование для отмывки корней
из небольших образцов почвы



Рис. 13. Оборудование для отмывки корней

Отмытые от почвы корни и пожнивные остатки делят на четыре группы: крупные корни диаметром больше 1 мм; тонкие корни диаметром до 1 мм и их обломки; пожнивная масса; мертвые, полуразложившиеся остатки. Для разделения этих групп отмытую массу заливают водой в больших химических стаканах и хорошо перемешивают. На дно стакана опускаются более тяжелые гумифицированные остатки, живые корни занимают среднее положение, а отмершие растительные остатки всплывают на поверхность, которые многократно сливают на сито с ячейками 0,25 мм. Живые длинные корни выбирают пинцетом, а мелкие с иловатыми почвенными частицами отделяют от гумифицированной массы путем дополнительной отмывки.

Оставшиеся на дне остатки также отмывают от почвы и присоединяют к общей фракции.

Для расчета площади поверхности и суммарной длины корней определяют микрометром средний диаметр каждой фракции живых корней.

Объем влажных корней определяют в мерных цилиндрах с таким количеством воды, чтобы помещались корни. В цилиндре корни тщательно перемешивают для удаления воздуха. Разность в объемах воды

до и после погружения корней будет равна их объему. Для более точного измерения пользуются специальными объеметрами Сабинина – Колосова и другими.

После определения объема все фракции растительных остатков высушивают до воздушно-сухого или сухого состояния и взвешивают на технологических весах.

Поверхность корней (S , см²) вычисляют по формуле:

$$S = \frac{4V}{D},$$

где V – объем корней, см³;

D – средний диаметр корней, см.

Длину корней (L , см) каждой фракции приближенно можно определить по следующей формуле: $L = \frac{S}{\pi D}$, где $\pi = 3,14$.

4. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКИ СИСТЕМ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время системы кормопроизводства разрабатываются на основе синтеза разрозненных эмпирических данных, включающих исследования по кормовым и полевым севооборотам, культурным и естественным сенокосам и пастбищам, технологиям возделывания кормовых и зернофуражных культур, технологиям заготовки и использования кормов, экономической эффективности их производства. Производственная проверка таких систем в бывших экспериментальных хозяйствах научных учреждений носила весьма приблизительный характер и не имела строгого научного обоснования.

С развитием информационных систем и накоплением эмпирических данных возникает необходимость проведения синтетических исследований по моделированию и экспериментальной проверке эффективности систем кормопроизводства по выходу кормов и животноводческой продукции, средообразующим свойствам и устойчивости их функционирования. В основу математического моделирования должны быть положены балансовые методы потоков энергии и вещества в системе и разработка приемов их оптимизации, обеспечивающих производство конкурентной и качественной продукции при устойчивом функционировании агроэкосистем. Базовой основой исследований являются законы термодинамики.

В специализированных хозяйствах в зависимости от источников поступления кормов (покупные, собственные) рекомендованы и применяются травопольная, травянозерновая и травянозернопропашная системы.

Травопольная система. Многолетняя травянистая растительность, включая естественные и культурные сенокосы и пастбища, занимает до 80–90 % общей площади угодий. Применяется преимущественно в крестьянских и фермерских хозяйствах по разведению мясного скота; при сенном типе кормления зимой и использовании пастбищных кормов летом может применяться в молочно-мясном животноводстве. Перспективна в северных областях лесной зоны с характерной мелко-

контурностью сельскохозяйственных угодий. Функционирует на основе сенокосно-пастбищных севооборотов с травостоями длительного пользования и естественных угодьях.

Травянозерновая система. Применяется в фермерских хозяйствах и других предприятиях по выращиванию мясного и молочно-мясного скота с техническими возможностями, позволяющими возделывать многолетние травы, однолетние и зернофуражные культуры. В структуре сельскохозяйственных угодий 60–70 % занимает многолетняя и однолетняя травянистая растительность, 30–40 % — зернофуражные культуры. Перспективна в лесной зоне с ограниченными тепловыми ресурсами для возделывания кукурузы и других теплолюбивых культур. Функционирует на сочетании естественных и культурных сенокосов и пастбищ, а также зерновых или зернотравяных севооборотов. Для производства силоса, наряду с многолетними, используются смешанные посевы однолетних кормовых культур.

Травянозернопропашная система. Применяется в средних и крупных животноводческих предприятиях, оснащенных высокопроизводительными техническими средствами для возделывания культур, создания сенокосов и пастбищ, заготовки и хранения кормов. В структуре сельскохозяйственных угодий не менее 50 % занимает многолетняя травянистая растительность, 30–35 % — зернофуражные культуры, 15–20 % — силосные, преимущественно кукуруза. Травянозернопропашная система является универсальной для производства всех видов кормов и в наибольшей степени отвечает требованиям рациональной системы кормопроизводства. Функционирует на сочетании естественных и культурных сенокосов и пастбищ, прифермских пропашных или травянопропашных севооборотов, специализированных севооборотов для производства зернофуража. При стойловом содержании молочного скота пастбища создаются для ремонтного молодняка.

При экономически целесообразных ценах на концентрированные корма промышленного производства травянозернопропашная система может трансформироваться в травянопропашную, где доля многолетних трав в структуре сельскохозяйственных угодий может составлять до 75–80 %, силосных — 20–25 %.

Исследования по обоснованию оптимальных параметров систем

кормопроизводства проводятся в многолетнем или длительном стационаре с включением в схему опыта только главных элементов системы, определяющих целостность и устойчивость ее функционирования. К базовым элементам системы относятся: 1) видовой и сортовой состав полевых кормовых культур, 2) культурные сенокосы и пастбища, 3) естественные кормовые угодья, 4) корма.

Суммарными показателями эффективности системы являются количественные (выход зеленой и сухой массы с единицы площади) и качественные (выход валовой и обменной энергии, протеина, незаменимых аминокислот и др.) показатели кормов, обеспечивающие производство биологически полноценной животноводческой продукции. Также обязательными требованиями, предъявляемыми к системе кормопроизводства, являются ее положительные средообразующие свойства (почвозащитные и почвоулучшающие), устойчивость функционирования в изменяющихся погодных условиях и экономическая эффективность.

Исследование сложного объекта предполагает предварительное построение его модели, которая представляет упрощенную форму основных блоков строения и функционирования реального объекта.

В основу такой модели положено изучение потоков и баланса энергии и вещества, позволяющих анализировать системы кормопроизводства по следующим критериям и параметрам:

- степени утилизации ФАР агрофитоценозами, количественным и качественным показателям растениеводческого сырья;
- эффективности использования энергии антропогенного происхождения в активизации усвоения агроэкосистемами ФАР и воспроизводстве почвенного плодородия;
- долевого участию естественных и антропогенных ресурсов в продукционном процессе;
- эффективности энергетической биоконверсии (трансформации) органического вещества и энергии в производственных циклах, воспроизводстве энергетического уровня агроэкосистемы, включая плодородие почвы;
- прогнозированию направленности развития агроэкосистемы по балансу энергии и вещества (отрицательный, нулевой, положительный);

– сравнительной энергетической и экономической эффективности систем кормопроизводства (травопольная, травянозерновая, травянозернопропашная) в зависимости от структуры сельхозугодий, способов содержания животных (стойловый, стойлово-пастбищный), по себестоимости кормов и уровню рентабельности их производства.

Объекты исследований включают полевые стационарные опыты и, при необходимости, базовые (модельные) хозяйства научных учреждений.

В стационарных полевых опытах определяются параметры накопления и распределения органического вещества в агроэкосистемах, включая товарную и дополнительную продукцию, кормовые средства, растительные и корневые остатки, их агроэнергетические коэффициенты; коэффициенты минерализации органического вещества почвы под различными культурами и коэффициенты трансформации поступающего в почву органического вещества; поступление ФАР и эффективность ее использования в зависимости от уровня и структуры затрат антропогенной энергии, соотношения антропогенных и биологических ресурсов; оптимальное соотношение биологических и антропогенных ресурсов, обеспечивающее хозяйственную и экологическую эффективность продукционных процессов и воспроизводства плодородия почвы.

Полевой стационарный опыт является наиболее объективным методом исследований теоретических и практических основ рациональных систем кормопроизводства. В схему стационарного опыта (табл. 2) необходимо включить кормовые угодья и культуры, рекомендованные для природно-сельскохозяйственных зон, провинций и округов.

Так, для Смоленско-Московского природно-сельскохозяйственного округа, который занимает 9093 тыс. га, необходимо включать следующий минимальный состав культур: 1) многолетние злаковые травы 5–6 лет пользования, 2) многолетние злаковые травы > 20 лет пользования, 3) многолетние бобово-злаковые травы 5–6 лет пользования, 4) многолетние бобово-злаковые травы > 20 лет пользования, 5) многолетние бобово-злаковые травы двух лет пользования, 6) однолетние бобово-злаковые травы, 7) озимые зерновые, 8) яровые зерновые, 9) зернобобовые, 10) силосные, 11) корнеплоды.

2. Примерная схема опыта

№ варианта	Вариант	Уровень интенсификации		
		I	II	III
1	Многолетние злаковые травы 5–6 лет*	Без удобрений	Органический	Органоминеральный
2	Многолетние злаковые травы > 20 лет*			
3	Многолетние бобово-злаковые травы 5–6 лет*			
4	Многолетние бобово-злаковые травы > 20 лет* с подсевом бобовых			
5	Севооборот			
Севооборот	1. Однолетние травы с подсевом многолетних трав			
	2. Многолетние травы 1-го года пользования			
	3. Многолетние травы 2-го года пользования			
	4. Озимые зерновые			
	5. Зернобобовые			
	6. Силовые			
	7. Яровые зерновые			
	8. Корнеплоды (кормовая свекла)			

**Многолетние травы целесообразно изучать в сенокосном и имитационном пастбищном режимах.*

Однолетние культуры и многолетние травы двух–трех лет пользования размещаются в севообороте, например: 1) однолетние травы с подсевом многолетних, 2–3) многолетние бобово-злаковые травы, 4) озимые, 5) зернобобовые, 6) силосные, 7) яровые, 8) корнеплоды.

Многолетние травы сенокосного использования размещаются отдельными блоками в повторностях.

Исследования необходимо проводить не менее чем на двух уровнях интенсификации продукционного процесса:

I – контроль без удобрений;

II – органический с использованием местных органических удобрений и мелиорантов, сидератов, растительных остатков, включая солому зерновых и зернобобовых, симбиотическую и ассоциативную азотфиксацию;

III – органоминеральный с использованием нового поколения макро- и микроудобрений, средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, новых способов их применения, органических удобрений и мелиорантов, биопрепаратов, растительных остатков, включая

солому зерновых и зернобобовых, симбиотическую и ассоциативную азотфиксацию.

Размещение опыта может быть двухъярусным; севооборот и многолетние травы различных сроков пользования — блоками (рис. 14).



Рис. 14. Примерная схема размещения опыта на участке

Дополнительными объектами опыта должны быть метеостанция для наблюдения за погодными условиями и солнечной инсоляцией, постоянная скважина для измерения уровня грунтовых вод и влажности почвенного профиля, лизиметры, постоянные площадки для изучения минерализации и гумификации органического вещества удобрений и растительных остатков, другие.

Минимальная общая площадь делянки второго и третьего уровней — 50 м², повторность четырехкратная.

4.1. Подготовка земельного участка и закладка полевого опыта

Земельный участок под опыт должен отвечать целям и задачам длительного опыта и обеспечивать максимальную объективность полученных данных в течение длительного времени. Опыты должны закладываться на участке, на котором или вблизи которого, не должны проводиться работы, нарушающие почвенный покров, его гидрологический и температурный режимы, изменять в целом функционирование ближайших агроландшафтных территорий. Основное требование к земельному участку — его типичность для региона, который входит в зону обслуживания научного учреждения.

Для закладки опыта необходим ровный или с небольшим однообразным уклоном (1,0–1,5 м на 100 м) участок, для чего проводят его по-

дробную нивелировку с составлением плана с горизонталями через 0,3–0,5 м. Следует исключить также участки для закладки опыта с большим разнообразием по микрорельефу (ложбинки, блюдца, западинки, бугорки). Опытный участок должен быть однородным как по почвенному покрову, так и по окультуренности. Для этого исследуют почву с помощью почвенных разрезов, прикопок с отбором образцов по почвенным горизонтам и анализом их по агрохимическим, физическим и водно-физическим свойствам. По полученным данным составляют почвенную карту в масштабе 10–50 м² в 1 см².

Удаленность опыта от жилых домов, производственных построек, сплошного леса должна быть не менее 250–300 м, от отдельных деревьев — 100–150 м, плотных изгородей — 20 м, проезжих дорог — 50–100 м.

Выравненность земельного участка по окультуренности определяется по результатам учета уравнительных (при необходимости) и рекогносцировочных посевов. Для рекогносцировочных посевов используют яровые зерновые культуры, которые учитывают отдельными малыми делянками (40–50 м²). Во время вегетации за рекогносцировочным посевом необходимо проводить наблюдения с целью выявления существенных отклонений от нормального развития растений, степени очагового повреждения посевов вредителями и болезнями, засоренностью, что в последующем может оказывать влияние на точность получаемых данных. По существу, таких отклонений не должно быть, если опыт закладывается в системе экспериментального севооборота.

4.2. Учеты и наблюдения в полевом опыте

В длительных стационарных опытах комплекс учетов и наблюдений является важнейшим условием объективности и эффективности исследований, позволяющих разработать теоретические и практические основы рациональных систем кормопроизводства. Особенно важны наблюдения за фитосанитарным состоянием многолетних трав, их влиянием на плодородие почвы и фиксацию углерода (декарбонизацию) при различной длительности их использования.

Минимальное количество учетов и наблюдений в полевом опыте включает:

– продуктивность культур (зеленая масса, сухое вещество, валовая и обменная энергия, кормовые единицы), использование ФАР;

– качество растительного сырья (содержание сухого вещества, клетчатки, жира, протеина, золы, безазотистых экстрактивных веществ, в том числе сахаров, фосфора, калия, кальция, нитратов, микроэлементов);

– фазы развития растений, густоту стояния растений в период всходов и перед уборкой, количество побегов, площадь листьев, чистую продуктивность фотосинтеза, высоту растений, структуру урожая;

– пожнивные и корневые остатки, содержание в них углерода, азота, фосфора и калия, сухого вещества, содержание валовой энергии; интенсивность их минерализации и гумификации;

– физические и водно-физические свойства почвы: объемный вес, макро- и микроструктуру, порозность почвы, запасы продуктивной влаги и уровень грунтовых вод перед посевом, в середине и конце вегетации;

– состав и динамику микрофлоры, активность азотфиксации, активность ферментов почвы;

– агрохимические свойства: содержание органического вещества и гумуса, содержание валовой энергии в почве, содержание в гумусе гуминовых и фульвокислот, общие запасы и доступные формы азота, фосфора и калия, актуальная (рН) и гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований в начале и конце ротации севооборота (в то же время на многолетних травах > 20 лет пользования; на травах пяти–шестилетнего пользования — перед залужением и в конце пользования);

– засоренность посевов и почвы;

– степень поражения однолетних кормовых культур, севооборота и многолетних трав болезнями и вредителями;

– агроэнергетическую и экономическую оценки однолетних и многолетних культур, севооборота, структуры посевных площадей и систем кормопроизводства.

Почвенно-агрохимические исследования. Севообороты различной специализации оказывают влияние на следующие показатели, характеризующие плодородие почвы:

а) агрохимические — содержание и фракционный состав гумуса, виды кислотности, показатели почвенного поглощающего комплекса, валовое содержание и формы макро- и микроэлементов, необходимых для питания растений;

б) агрофизические — механический и микроагрегатный состав, структурное состояние и водопрочность структурных отдельностей, плотность сложения и общая пористость, водный и воздушный режимы;

в) биологические — общее число микроорганизмов и их отдельных групп, ферментативная активность, нитрифицирующая и азотфиксирующая активность почвы, интенсивность разложения целлюлозы, выделение CO_2 .

Общее содержание гумуса определяют по методике И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова. Для фракционирования гумуса используют методику В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой или М. М. Кононовой и Н. П. Бельчиковой.

Отбор и анализ почвенных образцов для выявления основных видов кислотности, показателей почвенного поглощающего комплекса, валового содержания макро- и микроэлементов проводят в начале и в конце ротации севооборотов в четырехкратной пространственной повторности по соответствующим зональным методикам определений (Агрохимические методы исследования почв. М., 1975).

Анализ азотного состава проводят ежегодно в конце вегетационного периода по методике Шконде и Королевой (Агрохимические методы исследования почв. М., 1975) в трех–четырёхкратной пространственной и двукратной аналитической повторности.

Следует отметить, что все существующие методы фракционирования фосфора довольно громоздки и трудоемки, а трансформация фосфора удобрений в почвах — длительный и трудноуловимый процесс, поэтому состав фосфорного фонда почвы в севооборотах определяют в начале и в конце ротации в четырехкратной пространственной и двукратной аналитической повторности по методике К. Е. Гинзбург и Л. С. Лебедевой (Агрохимия, 1971, № 1).

Фракционный состав калия в севооборотах исследуют ежегодно, так как он подвержен заметным трансформациям. Методики определения групп калия обычно характерны для природной почвенной зоны.

Содержание микроэлементов в пахотном слое почвы выявляют 2–3 раза за ротацию в контрастных вариантах опытов. Методики отбора, подготовки и анализа образцов описаны в книге «Агрохимические методы исследования почв» (М., 1975).

Изучение механического и микроагрегатного состава, плотности сложения, порозности, водопрочности агрегатов позволяет установить воздействие вида культур и удобрений, интенсивности обработок, оросительной воды и других приемов на сохранение или ухудшение этих важнейших агрофизических качеств почвы. Показатели определяют перед закладкой опыта, в середине и в конце ротации севооборотов в четырехкратной пространственной повторности. Методики анализа содержатся в книге «Практикум по почвоведению» (М., 1980).

Влажность почвы исследуют на однородных по микрорельефу и состоянию растений площадках размерами 2 × 3 м. Влажность почвы в слоях 0–10 см, 10–20 см и при необходимости до глубины 50–100 см выявляют в динамике по фазам развития растений (для установления запасов доступной влаги) методом высушивания отобранных различными бурами проб в термостатах при температуре 105 °С.

Состав почвенного воздуха. Газовый режим складывается из запаса воздуха в почве, его состава, аэрации и интенсивности выделения газов из почвы. Эти показатели определяют в динамике по методике, изложенной в книге «Агрохимические методы исследования почв» (М., 1975).

Наблюдения за биологической активностью почвы следует проводить на многолетних и однолетних культурах:

- 1) основные физиологические группы микроорганизмов;
 - а) бактерий и актиномицетов на почвенном агаре;
 - б) плесневых грибов на среде Чапека-Докса с молочной кислотой, в динамике 3–4 раза за вегетацию;
- 2) интенсивность разложения целлюлозы аппликационным методом в конце каждого вегетационного периода;
- 3) интенсивность накопления свободных аминокислот аппликационным методом осенью;
- 4) нитрификационная способность почвы в начале вегетации перед внесением удобрений;

5) активность азотфиксации (нитрогеназная активность) ацетиленовым методом в динамике 3–4 раза за вегетационный период;

6) активность ферментов (уреазы, каталазы, пероксидазы, дегидрогеназы и др.) в динамике 5–6 раз за вегетацию.

Описание подготовки почвы для анализа и вышеперечисленных методов содержатся в руководствах «Методы стационарного изучения почв» (М. : Изд-во АН СССР, 1977) и «Методы почвенной микробиологии и биохимии» (М. : Изд-во МГУ, 1980).

Органическая масса кормовых культур включает массу растений, отчуждаемых с урожаем, послеуборочных остатков, корней, растений и сорняков, удаленных во время прореживаний и прополок, опавших, а также отмерших, но сохранившихся на растениях органов. Зерновые срезают на высоте 15 см, траву — 5 см от поверхности почвы. В урожае отдельно учитывают зерно, клубни, корнеплоды, солому, сено, используемые на силос части ботвы, листьев и т. д. Пробы для анализа отбирают во время уборки. Чтобы избежать потерь азота и углерода при сушке сочной массы стеблей, листьев и корнеплодов, их предварительно фиксируют.

Пробы корней для зольного анализа берут только после уборки урожая и послеуборочных остатков. Для этого рыхлят пахотный горизонт, достают корни, осторожно отряхивают и быстро, пока они не потеряли тургор, отмывают от почвы этиловым спиртом. Корни из почвенных монолитов, отмытые водой, могут потерять часть зольных элементов, поэтому использование их для анализов нежелательно.

Для учета растительных остатков в почве, берут почвенные монолиты. С площади монолита убирают органические остатки надземных частей растений, складывают в бумажные пакеты и высушивают. На опытной делянке отбирают не менее трех–четырех монолитов прямоугольного сечения в каждой из двух повторностей опыта. На пестрых травостоях количество монолитов удваивают.

При широкорядном посеве пропашных культур с междурядьями 60 см монолит почвы $20 \times 20 \times 20$ см исследуют в двух точках — под рядком и в междурядьях. Массу корней второго монолита умножают на два, суммируют с массой корней первого монолита и определяют массу

корней с площади 20×60 см. Повторность отбора монолитов пятишестикратная.

Сбор опада проводят на постоянных площадках не реже одного раза в декаду, приурочивая его к датам ухода за растениями. Собранный опад разбирают по структурным элементам (листья, стебли, плоды, сорняки и т. п.), высушивают и взвешивают.

Чтобы определить полную величину поступающих в почву растительных остатков от надземной части, к весу послеуборочных остатков прибавляют вес собранного за вегетационный период опада. Для разработки круговорота и баланса углерода, азота и зольных элементов химический анализ отдельных частей проводят по соответствующим методикам, например по «Методическим указаниям к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах» (Л., 1968).

Атмосферные осадки исследуют на опытном участке или в непосредственной близости от него (не далее 200 м).

Отбор проб и анализ осадков на химический состав проводят по «Методическим указаниям по сбору и хранению проб атмосферных осадков» (Л. : Гидрометеоиздат, 1967).

Для выявления потерь основных элементов питания с инфильтрационными водами используют лизиметры различных конструкций и размеров, в частности, изготовленные из полиэтилена или оцинкованного железа плосковрезные сосуды площадью $0,05\text{--}0,1$ м² с высотой стенок 4–5 см (см. раздел 7).

Определение количества лизиметрических вод и их анализ проводят ранней весной, в период вегетации растений и осенью. Инфильтрационные воды учитывают сразу после выпавших осадков, а весной и осенью — ежедневно.

Для агрохимических целей в лизиметрических водах устанавливают рН, биохимическое потребление кислорода, прозрачность, содержание нитратного, аммиачного и общего азота, фосфора в минеральной и органической форме, калия, кальция, магния, серы, отдельных микроэлементов.

При рассмотрении названных компонентов в инфильтрационных водах используют методику «Унифицированные методы анализа вод» под редакцией В. И. Лурье (М., 1973).

На основе данных приходных (поступление с удобрениями, семенами, атмосферными осадками, корнями, послеуборочными остатками, опадом и потерями при уборке) и расходных (отчуждение из почвы с урожаем, вымывание из верхних слоев почвы) статей рассчитывают хозяйственный баланс элементов питания, который применяют для подготовки полного баланса в системе «почва–удобрение–растение–вода».

4.3. Засоренность посевов и почвы

Учет надземной массы сорной растительности проводят на пробных площадках размером не менее $0,25 \text{ м}^2$, их форма зависит от культуры и способа посева: при сплошном рядовом — квадратная ($0,5 \times 0,5 \text{ м}$), при широкорядном — прямоугольная (причем одна сторона прямоугольника должна соответствовать ширине междурядий). Рамки для выделения площадок накладывают так, чтобы рядок был в середине площадки. Для учета эффективности гербицидов, вносимых по вегетирующим растениям, площадки должны быть постоянными.

Количество учетных площадок на делянке зависит от степени засоренности, характера распределения сорняков и заданной точности исследований. Чтобы получить точность до 10 %, которую обычно принимают по засоренности, рамку $0,25 \text{ м}^2$ следует накладывать 5–6 раз на делянке в каждом из четырех повторений.

В севооборотах учеты проводят один раз во время максимального накопления их надземной массы, совпадающего с цветением. Сорняки вырывают, подсчитывают по видам и заворачивают в бумагу, причем преобладающие виды отдельно; затем растения переносят в лабораторию или сарай, разбирают по биологическим группам, взвешивают и определяют сырую и сухую надземную массы сорняков.

При изучении различных приемов на изменение засоренности, сорняки учитывают в течение вегетационного периода 2–4 раза, проводя наблюдения на постоянных площадках. Для выяснения влияния обработки почвы (культивация, боронование и т. д.) учеты проводят за один день до обработки и спустя две недели после нее.

При использовании почвенных гербицидов первый учет засоренности следует проводить при массовом появлении всходов (примерно

через 30 дней после внесения гербицидов), второй — через 60 дней и третий — перед уборкой урожая.

Применяя повсходовые гербициды, первые результаты (учет) получают непосредственно перед обработкой, вторые — для препаратов контактного действия — через 7–10 дней, для системных — через 20–30 дней, третьи — перед уборкой урожая.

Запас семян сорняков в пахотном слое определяют из почвенных образцов с последующим определением жизнеспособности. Образцы почвы для изучения засоренности отбирают с помощью специальных буров; можно также использовать бур Измаильского, предназначенный для взятия проб на влажность. В зависимости от цели и задачи опыта, образцы берут послойно (0–10 см, 10–20 см и т. д.) или на всю глубину пахотного горизонта.

Количество проб зависит от диаметра бура. Чтобы определить среднюю засоренность пахотного горизонта с точностью до 10 %, буром диаметром до 3,5 см нужно взять пробы из 30 скважин, диаметром 8 см — из 20 и т. д. При подсчете количества скважин, на каждой деланке их общее число для данного диаметра бура делят на число повторений. Почвенные образцы, взятые с одной деланки, объединяют, в итоге количество почвенных проб соответствует количеству деланок в опыте.

Образцы почвы на засоренность отбирают при закладке и в конце опыта после завершения ротации звена или севооборота, осенью после уборки каждой культуры.

Определение содержания сорняков в почве проводят методами проращивания, ручного отбора, выявления их по удельному весу, которые изложены в «Методических указаниях по проведению полевых опытов с кормовыми культурами» (М., 1963) и в «Практикуме по земледелию» (Б. А. Доспехов, И. П. Васильев, А. М. Туликов, 1977).

Данные учета засоренности почвы семенами выражают в процентах от исходного состояния участка или пересчитывают в миллионах штук на 1 га.

4.4. Энтомологические учеты

Численность насекомых в опытах определяют методом улавливания насекомых банками-ловушками и кошением сачком.

Учет наземной энтомофауны (насекомые, живущие в почве и на ее поверхности) осуществляют банками емкостью 0,5 л. На каждом поле опыта на поверхности почвы закапывают по две банки. Для фиксации насекомых в каждую банку наливают 200–300 мл 4%-ного раствора формалина. Насекомых вынимают из банок 3–4 раза за вегетацию: для однолетних и многолетних бобовых трав — в период всходов (отрастание), стеблевания, бутонизации и перед уборкой; для кукурузы и кормовых корнеплодов — в период всходов, образования двух–трех листьев и перед уборкой.

Учет энтомофауны растений проводят сачком (по 25 взмахов в те же периоды, что и при выемке насекомых из банок). Попавших в сачок насекомых замаривают медицинским эфиром, затем раскладывают в лаборатории на энтомологические матрасики с указанием номера поля, даты, культуры.

Для **установления повреждаемости** на каждом поле осматривают 50 растений (по 10 растений в пяти местах), находящихся в основных фазах развития. Повреждаемость определяют по трехбалльной шкале: слабая (листовая поверхность уничтожена на 25 %), средняя (на 25–50 %), сильная (свыше 50 %).

4.5. Фитопатологические учеты

Наиболее распространенные болезни бобовых культур — клеверный рак, корневые гнили, мучнистая роса, антракноз, аскохитоз и другие. Пораженность растений гнилями и увяданием определяют пять раз за вегетацию через 10–15 дней после появления всходов, перед уходом в зиму, после первого года жизни; ранней весной, в начале отрастания трав во второй год жизни; в начале цветения, перед первым укосом, перед вторым укосом; перед уходом в зиму.

Вредоносные болезни злаковых трав: корневые гнили, снежная плесень, склеротиниоз, тифулез, головня, спорынья, гельминтоспориоз, мучнистая роса, ржавчина и вирусные болезни.

Корневые гнили выявляют три раза за вегетацию: в фазу полных всходов, в начале цветения и перед уборкой. На каждом поле севооборота анализируют 50 растений (по 10 растений в пяти местах).

Болезни кукурузы. При монокультуре и в севооборотах кукурузу сильно поражает пузырчатая головня, гельминтоспориоз и другие болезни.

Пузырчатую головню учитывают в течение всего периода вегетации: в фазу четырех–пяти листьев, перед цветением, в период молочно-восковой спелости. На каждом поле осматривают по 100 растений (10 растений в десяти местах) и отмечают количество здоровых и пораженных, затем вычисляют процент больных растений.

Гельминтоспориоз листьев кукурузы определяют в начале восковой спелости на 25 растениях (по 5 растений в пяти местах). Рассматривают пораженность четырех листьев, начиная сверху. Для каждой группы вычисляют средний процент поражения.

Болезни кормовых корнеплодов. Сильный вред кормовым корнеплодам причиняют пероноспороз, корнеед, мучнистая роса и др.

Пораженность кормовой свеклы корнеедом определяют в период полных всходов, выбирая 100 растений (по 10 растений в десяти местах). Пробы берут лопаточкой шириной 8 см. Здесь же проводят анализ и подсчитывают количество и процент здоровых и больных растений на каждом поле.

Пятнистости листьев и налеты (церкоспороз, мучнистая роса и др.) исследуют во второй половине лета. Просматривают 25 растений на каждом поле (по пять растений в пяти местах). Интенсивность поражения учитывают по четырехбалльной шкале: 0 – поражение отсутствует, 1 – поражено до 10 % поверхности, 2 – 10–25 %, 3 – более 50 %, отдельные листья отмирают.

Техника выполнения наблюдений и учетов поврежденности и пораженности кормовых культур вредителями и болезнями изложена в разделе 13.

5. КОРМОВЫЕ СЕВООБОРОТЫ

При разработке научных основ создания интенсивных кормовых севооборотов исследования проводят в три этапа. На первом этапе в целях установления рационального чередования культур в севообороте и выявления лучших предшественников закладывают опыты по изучению совместимости кормовых и других сельскохозяйственных культур в кормовом севообороте. В этих же опытах устанавливают возможность повторных посевов кормовых культур и их продуктивность. Последнее имеет большое значение при разработке высокопродуктивных севооборотов с ограниченным видовым составом и насыщенных наиболее урожайными кормовыми культурами в конкретных природно-климатических условиях.

Второй этап исследований включает разработку наиболее продуктивных звеньев или полных схем кормовых севооборотов. Цель таких опытов — выявление звеньев севооборотов, насыщенных основными кормовыми культурами, установление наиболее эффективных как по продуктивности, так и по влиянию на плодородие почвы видов кормовых севооборотов и отдельных культур в данной зоне.

В зависимости от специализации сельскохозяйственного производства, в первую очередь животноводства, исследования по разработке кормовых севооборотов проводят в двух направлениях. Для животноводческих комплексов, крупных товарных ферм и хозяйств по производству кормов разрабатывают специализированные кормовые севообороты, предназначенные для производства сочных (силос, корнеклубнеплоды) кормов, сенажа, травяной муки и резки, брикетированных, гранулированных и зеленых кормов, а также зернофуража. Насыщение таких севооборотов кормовыми культурами может быть высоким: от 75 до 100 %.

Для хозяйств многоотраслевого направления разрабатывают севообороты, где кормовые культуры занимают от 50 до 75 %, а остальную площадь — зерновые, технические и другие культуры.

В зависимости от потребности в различных кормах, соотношения сельскохозяйственных культур, виды кормовых севооборотов могут быть различными (травопольные, травянопропашные, пропашные и др.).

В районах с достаточным увлажнением и на орошаемых землях с целью интенсификации использования пашни разрабатывают кормовые севообороты или звенья с насыщением их различными видами промежуточных культур.

Третий этап исследований состоит в разработке систем применения удобрений, известкования кислых почв, использования гербицидов, обработки почвы и других наиболее важных факторов, которые определяют продуктивность кормовых культур и севооборота в целом. Такие опыты могут быть как однофакторные, так и многофакторные. Большую научную информацию и комплексное решение вопроса дают многофакторные опыты. Исследования по разработке комплекса агротехнических приемов возделывания кормовых культур проводят в перспективных, наиболее продуктивных кормовых севооборотах для данной зоны. Во всех опытах используют высокоурожайные районированные сорта кормовых и других культур, применяют прогрессивную технологию их возделывания.

Для специализированных животноводческих хозяйств с высоким насыщением структуры посевных площадей многолетними травами актуальны исследования по совершенствованию агротехнических основ прифермских севооборотов для производства силоса и зерновых севооборотов для производства зернофуража. Основная задача таких исследований — разработка мероприятий по повышению эффективности систем удобрения, обработки почвы и защиты растений от вредителей, болезней и сорняков; цель — повышение продуктивности севооборотной площади и качества растительного сырья, снижение затрат материально-технических и трудовых ресурсов, воспроизводство плодородия почв, защита окружающей среды.

В опытах по изучению совместимости кормовых культур определяют наилучшее их сочетание и влияние на общую продуктивность севооборота. Исследования проводят в течение четырех лет по следующей схеме: первый год — уравнительный посев (обычно выращивают зерновую культуру); второй год — посевы изучаемых кормовых культур *a, б, в, г*; третий год — посевы этих же культур в различном сочетании *aa, аб, ав, аг, ба, бб, бв, бг, ва, вб, вв, вг, га, гб, гв, гг*; четвертый год — посев контрольной культуры для изучения последей-

ствия. Размещение культур на третий год осуществляют методом расщепленных делянок. Если совместимость культур при различном сочетании изучают в течение двух лет, опыт продолжают еще два года. Изучение совместимости культур целесообразно проводить на нескольких фонах питания, с применением гербицидов и без них, при орошении и без полива.

Для изучения совместимости многолетних трав при различной продолжительности их использования в сочетании с однолетними кормовыми культурами предварительно создают травостой многолетних трав разных лет жизни. Опыт проводят в четырехкратной повторности при трехкратном повторении во времени. Площадь делянок — не менее 100 м².

В опытах со звеньями кормовых севооборотов, в отличие от исследований по изучению совместимости кормовых культур, определяют как действие, так и последствие изучаемых культур в звене севооборота.

Оценку звена кормового севооборота проводят по общей продуктивности за все годы испытания. Последствие всех звеньев севооборота изучают на одной контрольной культуре. Изучение последствия культур в звене севооборота заканчивают, когда урожай контрольной культуры во всех вариантах будет одинаковым или различия будут в пределах ошибки опыта. Минимальную продолжительность таких опытов рассчитывают по формуле:

$$E = П + 2,$$

где E – минимальная продолжительность опыта;

П – количество основных культур в звене севооборота (продолжительность в годах) без контрольной культуры);

2 – продолжительность возделывания контрольных культур.

Например, в звеньях при изучении чередования культур в течение трех лет минимальная продолжительность опыта — пять лет.

Опыты по изучению звеньев кормовых севооборотов закладывают в течение трех лет, учетная площадь делянки — не менее 100 м², повторность четырехкратная с полным развертыванием звеньев. Такие опыты лучше проводить на одном участке. Для этого участок делят на три равные части. На каждой части участка (блоке) последовательно по годам закладывают звенья согласно схеме опыта. На тех частях участка,

где в первые два года опыты не проводят, высевают уравнивающие культуры.

При изучении звеньев кормовых севооборотов за контроль принимают наиболее эффективное звено, применяемое в производстве в конкретных зональных условиях. Опыты целесообразно проводить на нескольких агротехнических фонах, которыми могут служить различные нормы удобрений, способы обработки почвы, система применения гербицидов.

Опыты по изучению типов и видов кормовых севооборотов закладывают с развертыванием всех полей на площади. Опытные севообороты могут иметь как одинаковую, так и разную продолжительность ротации. Площадь делянки (полей) — не менее 100 м², повторность севооборотов четырехкратная. Каждая повторность содержит все поля опытных севооборотов, которые группируют в блоки. В блоке размещают изучаемые культуры каждого севооборота. Расположение блоков в повторности рандомизированное. Ширина делянки и разворотная полоса между ярусами должна быть такой, чтобы можно было механизировать и качественно провести все полевые работы по обработке почвы, возделыванию и уборке культур.

Опыты рекомендуется проводить на двух фонах удобрений. На первом фоне вносят рекомендуемые на ближайшую перспективу нормы удобрений для каждой культуры, на втором — нормы, обеспечивающие получение максимальных урожаев культур в данной зоне.

В качестве контроля используют севооборот, принятый в настоящее время в зоне. Для комплексной оценки севооборота исследования продолжают как минимум в течение одной ротации. Оценку севооборотов проводят по общей их продуктивности (выход с 1 га пашни основной и побочной продукции), себестоимости и качеству продукции. Для экономической оценки кормовых севооборотов в основу расчетов необходимо брать прямые затраты по технологическим картам для каждой культуры и закупочным ценам на сельскохозяйственную продукцию. При оценке зернофуражных культур в кормовом севообороте исключаются из урожая семена, израсходованные на посев.

При изучении различных типов и видов кормовых севооборотов в опытах целесообразно также иметь бессменные посевы основных кор-

мовых культур. Это позволяет в одном опыте выявить продуктивное долголетие кормовых культур при повторном посеве и решить многие принципиальные вопросы построения севооборотов: насыщение их наиболее продуктивными культурами, применение системы мер по борьбе с сорняками, применение удобрений и другие агротехнические вопросы. При изучении бессменных посевов кормовых культур необходимо иметь три варианта опыта: без удобрений (абсолютный контроль), нормы удобрений (два фона), которые применяют непосредственно под культуры в севообороте, оптимальные для получения максимальных урожаев.

В многофакторных опытах на основе выявления наиболее эффективных кормовых севооборотов разрабатывают системы удобрений, обработки почвы, применения гербицидов и другие агротехнические приемы. Например, в трехфакторном опыте варианты с кормовыми севооборотами и обработкой почвы (два фактора) располагают в продольном направлении делянок (полей), а с удобрениями (третий фактор) — в поперечном направлении. Опыты продолжают с момента полного освоения севооборотов до конца их ротации. Контролем служит вариант, где сочетаются наиболее распространенный в практике севооборот и рекомендуемые агротехнические приемы возделывания кормовых культур.

В опытах по изучению кормовых севооборотов необходимо определять запасы доступной влаги в почве (по горизонтам, на дерново-подзолистых почвах на глубину до 60 см, на черноземах — до 150 см) перед посевом и после уборки; полевую влагоемкость, водопроницаемость; плотность почвы в начале, в середине и в конце вегетационного периода; структурное состояние и водопрочность агрегатов в пахотном слое в начале и в конце опыта; агрохимические показатели пахотного слоя почвы; общий запас и доступные формы азота, фосфора, калия, содержание гумуса и его фракционный состав, актуальную и гидролитическую кислотность, сумму поглощенных оснований при закладке опыта и в конце ротации или звена севооборота; засоренность посевов в середине вегетации, запас сорняков в почве в начале и в конце опыта (ротации); степень пораженности основных культур болезнями и вредителями ежегодно; урожай и его структуру; качество продукции основных культур севооборота; экономическую оценку культур, звеньев и полных ротаций севооборотов.

Наблюдения и учеты в исследованиях по разработке кормовых севооборотов зависят от целей и задач исследований, а также технических возможностей. Для получения необходимой информации требуется минимальное количество наблюдений (табл. 3).

3. Минимальная программа наблюдений и учетов в исследованиях по кормовым севооборотам

Показатели	Направление исследований (опыты)				
	по изучению типов и видов севооборотов, предшественников и совместимости культур	по совершенствованию			
		системы удобрений в севооборотах	системы обработки почвы в севооборотах	системы гербицидов	применения средств защиты от болезней и вредителей
Продуктивность культур: зеленая масса, сухое вещество, кормовые единицы	+	+	+	+	+
Качество урожая: содержание сухого вещества, клетчатки, жира, протеина, золы, БЭВ, в том числе: сахаров, фосфора, калия, кальция, микроэлементов (Mg, Zn, Cu, Fe), нитратов	+	+	+	+	+
Фазы развития растений, густота стояния растений в период всходов и перед уборкой, высота растений, площадь листьев, структура урожая	+	+	+	+	-
Пожнивные и корневые остатки, содержание в них углеводов, азота, фосфора и калия	+	+	+	-	-
Физические и водно-физические свойства почвы: объемный вес, макро- и микро-структура, порозность почвы, запасы продуктивной влаги перед посевом, в середине и конце вегетации	+	+	+	-	-
Агрохимические свойства: содержание гумуса, общие запасы и доступные формы азота, фосфора и калия, актуальная (рН), гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований в пахотном слое в начале и конце ротации севооборота или звена севооборота	+	+	общая характеристика		

Показатели	Направление исследований (опыты)				
	по изучению типов и видов севооборотов, предшественников и совместимости культур	по совершенствованию			
		системы удобрений в севооборотах	системы обработки почвы в севооборотах	системы гербицидов	применения средств защиты от болезней и вредителей
Засоренность посевов и почвы	+	+	+	+	-
Степень поражения основных кормовых культур болезнями и вредителями	+	+	+	+	+
Агротехническая, агроэнергетическая, организационно-производственная и экономическая оценка культур, звеньев и полных ротаций севооборота, отдельных приемов повышения продуктивности культур	+	+	+	+	+

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ И ВЕЩЕСТВА В СИСТЕМАХ КОРМОПРОИЗВОДСТВА И СЕВООБОРОТАХ

6.1. Общая схема исследования и анализа

Концептуальная балансовая модель исследования и анализа потоков энергии и вещества в агроэкосистеме представлена на рисунке 15. Модель включает продукционный блок, производственный биоконверсионный блок и блок энергетического баланса почвы.

Продукционный блок включает изучение потоков физиологически активной солнечной радиации ($E_{\text{фар}}$) за вегетационные периоды культур, антропогенной (техногенной) энергии ($E_{\text{тех}}$), направленной на возделывание культур, количества энергии, накопленной агрофитоценозами ($E_{\text{пац}}$), включая отдельные виды, севообороты, общую площадь сельскохозяйственных угодий.

Косвенное влияние на продукционные процессы оказывает энергия минерализованного органического вещества почвы, которая частично используется в виде CO_2 , азота и минеральных веществ (P, K, Ca, Mg, S, микроэлементы). Значительная часть энергии минерализованного вещества поступает в подземные воды и выделяется в атмосферу в виде CO_2 , аммиака и других соединений. Обычно при расчетах эта часть энергии, поступающей в агрофитоценозы, не учитывается, а общее ее количество относят к расходной части.

По последним данным, на наземные экосистемы оказывают влияние потоки земного тепла. По расчетам (Г. А. Булаткин, 2012), на Русской платформе из недр земли на 1 га ее поверхности в год поступает около 14500 МДж энергии, что эквивалентно разложению около 7 ц растительного органического вещества. Вероятно, что потоки земного тепла целесообразно рассматривать как общий фон.

Производственный биоконверсионный блок включает изучение и анализ энергии произведенной и приобретенной (покупные корма), ее биоконверсию при производстве продукции растениеводства и животноводства, воспроизводства энергетического баланса почвы.

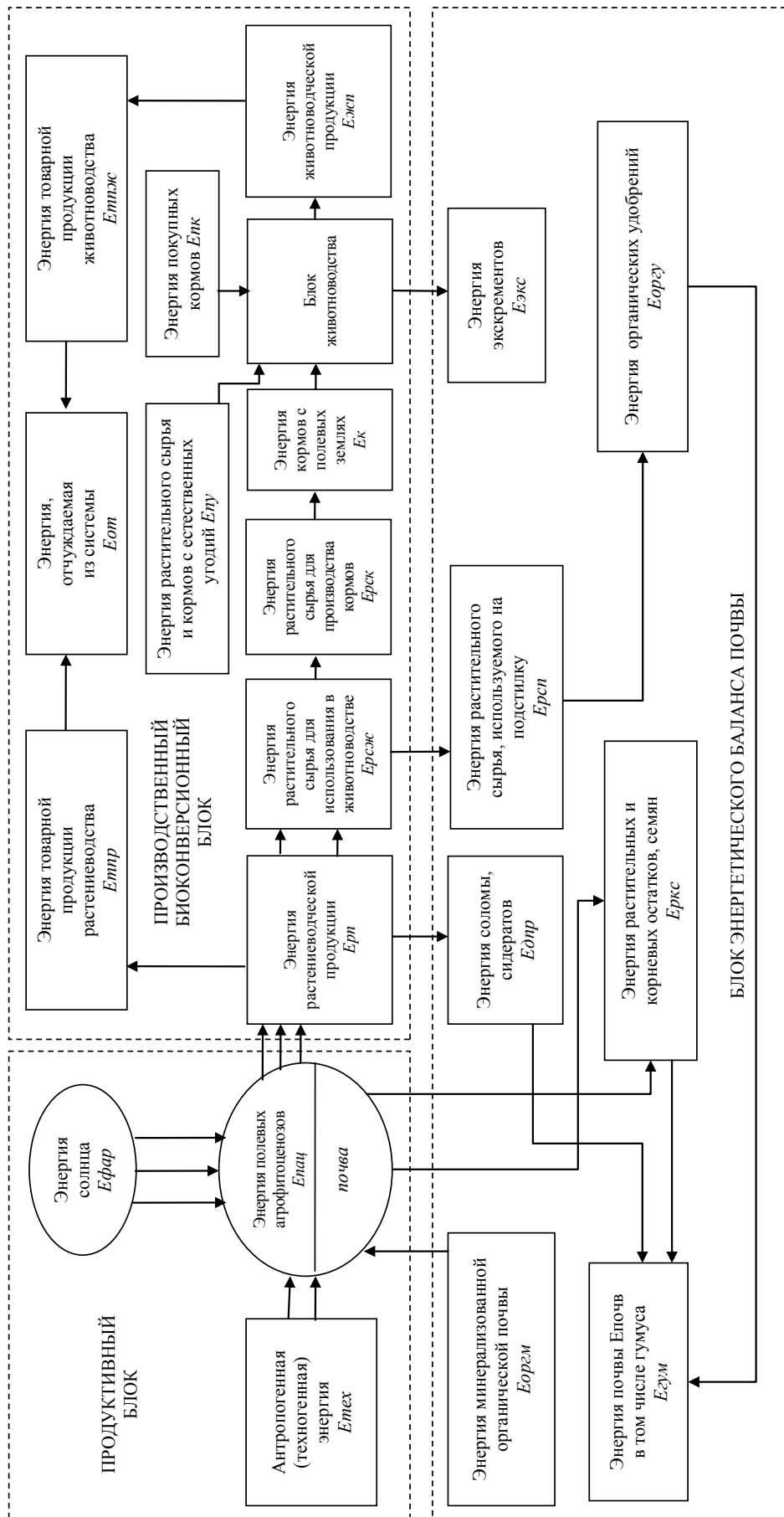


Рис. 15. Общая схема потоков энергии и вещества в агроэкосистеме

Энергия растениеводческой продукции ($E_{рп}$) распределяется по следующим потокам:

- энергия товарной продукции растениеводства ($E_{тпр}$);
- энергия соломы и сидератов, направленная на пополнение запасов энергии в почве ($E_{дрп}$);
- энергия растительного сырья, используемого в животноводстве ($E_{рсж}$);
- энергия растительного сырья для производства кормов ($E_{рск}$);
- энергия готовых кормов с полевых земель ($E_{к}$);
- энергия растительного сырья и кормов с естественных угодий ($E_{пу}$);
- энергия покупных кормов ($E_{пк}$);
- энергия растительного сырья, используемого на подстилку ($E_{рсп}$) и переходящая в органические удобрения ($E_{оргу}$).

Энергия кормов с полевых земель, естественных кормовых угодий и покупных кормов поступает в блок животноводства. Распределение потоков энергии на выходе:

- энергия животноводческой продукции, в том числе для внутрихозяйственного потребления ($E_{жп}$);
- энергия товарной продукции животноводства ($E_{тпж}$);
- энергия экскрементов животных ($E_{экс}$), переходящая в энергию органических удобрений ($E_{оргу}$);
- энергия товарной продукции растениеводства и животноводства, отчуждаемая из системы ($E_{от}$).

Блок энергетического баланса почвы ($E_{почв}$) включает расходный и входящий потоки энергии.

Расходные потоки энергии:

- энергия минерализованной органической почвы ($E_{оргм}$);
- потери энергии органического вещества почвы вследствие эрозии. В специализированных животноводческих хозяйствах с высоким удельным весом многолетних трав в структуре сельскохозяйственных культур этим показателем можно пренебречь.

Входящие потоки энергии:

- энергия соломы, сидератов ($E_{дрп}$);

- энергия органических удобрений ($E_{\text{оргу}}$);
- энергия растительных и корневых остатков, семян ($E_{\text{ркс}}$).

Обязательным условием эффективного ведения сельскохозяйственного производства является бездефицитный или положительный баланс энергии в почве сельскохозяйственных угодий. Наиболее энергоемким процессом является приготовление и внесение органических удобрений. При их избыточном количестве не исключается возможность их использования для производства газа, сухих удобрений и т. д.

В основу изучения потоков энергии в агроэкосистемах положены аналитические исследования количественных показателей ассимиляции солнечной энергии зелеными растениями и ее распределение на производство продукции и воспроизводство энергетического и вещественного баланса почвы.

Продукционный блок включает также энергию антропогенного происхождения, направленную на оптимизацию факторов роста и развития растений, технологии использования растениеводческой продукции.

В сухом веществе биомассы, используемой в животноводстве для производства кормов, определяется количество сухого вещества (СВ), валовая (ВЭ) и обменная (ОЭ) энергия, концентрация обменной энергии (КОЭ) и протеина. Такие показатели позволяют прогнозировать эффективность производства животноводческой продукции, разрабатывать модели оптимизации систем кормопроизводства.

В товарной продукции растительного и животного происхождения, в биомассе, используемой на воспроизводство энергетического и вещественного баланса почвы, определяется только валовая энергия (ВЭ).

Валовая энергия (ВЭ) — общее количество энергии, содержащееся в единице органического вещества, выраженное в джоулях (Дж).

Обменная энергия (ОЭ) — валовая энергия за вычетом потерь, выделенных из организма животных в результате жизнедеятельности; часть энергии корма, которую организм животного использует для обеспечения жизнедеятельности и образования продукции.

Сырой протеин (СП) — содержание сырого протеина (белки и азотистые небелковые соединения, амиды) в единице сухого вещества (г или %).

Концентрация обменной энергии (КОЭ) — содержание обменной энергии в единице сухого вещества (Дж/кг).

Антропогенная энергия — энергия, поступающая в агроэкосистемы в результате деятельности человека. Включает энергетические и овеществленные затраты на производство материально-технических средств (машины, орудия, оборудование, удобрения, пестициды, семена, мелиоранты и др.); энергетические ресурсы прямого применения (горюче-смазочные материалы, газ, электроэнергия); энергозатраты трудовых ресурсов — живой труд людей.

6.2. Основные показатели эффективности

Основные показатели анализа эффективности производственного блока включают:

– количество ФАР, поступающей за вегетационный период, ГДж/га;

– выход валовой энергии с кормовой площади общий (надземная + подземная масса) E_p , ГДж/га;

– выход валовой энергии с растениеводческой продукцией $E_{рп}$, ГДж/га;

– затраты антропогенной (техногенной) энергии на выращивание и уборку кормовых растений $E_{тех}$, ГДж/га;

– энергетический коэффициент производства общей биомассы определяется по формуле:

$$\text{ЭК}_p = \frac{E_p}{E_{тех}},$$

где ЭК_p – энергетический коэффициент производства общей биомассы растений (культура, севооборотная площадь, площадь с.-х. угодий), единиц;

E_p – валовая энергия общей биомассы растений, ГДж;

$E_{тех}$ – затраты техногенной (антропогенной) энергии на выращивание и уборку растений, ГДж;

– энергетический коэффициент производства растениеводческой продукции определяется по формуле:

$$\text{ЭК}_{\text{рп}} = \frac{E_{\text{рп}}}{E_{\text{тех}}},$$

где $\text{ЭК}_{\text{рп}}$ – энергетический коэффициент производства растениеводческой продукции, единиц;

$E_{\text{рп}}$ – валовая энергия растениеводческой продукции, используемой для производства кормов, товарных целей, удобрений, подстилки для животных и т. д., ГДж;

$E_{\text{тех}}$ – затраты техногенной энергии ГДж.

Коэффициент полезного действия ФАР (КПД ФАР) производства общей биомассы растений (культур, севооборотной площади сельскохозяйственных угодий) определяется по формуле:

$$\text{КПД ФАР}_p, \% = \frac{E_p \cdot 100}{E_{\text{фар}}},$$

где E_p – валовая энергия общей биомассы растений, ГДж;

$E_{\text{фар}}$ – физиологически активная радиация (ФАР) за период вегетации, ГДж.

Коэффициент полезного действия ФАР растениеводческой продукции (культур, севооборотной площади, сельскохозяйственных угодий) определяется по формуле:

$$\text{КПД ФАР}_{\text{рп}}, \% = \frac{E_{\text{рп}} \cdot 100}{E_{\text{фар}}},$$

где $E_{\text{рп}}$ – валовая энергия биомассы растений, используемой для производства растениеводческой продукции и удобрений (сидераты, солома, навоз и др.), ГДж;

$E_{\text{фар}}$ – физиологически активная радиация за период вегетации, ГДж.

Основные показатели блока биоконверсии валовой энергии в производственных циклах включают:

– выход энергии товарной продукции растениеводства (зерно, семена, корма и др.), $E_{\text{тп}}$, ГДж/га;

– коэффициент биоконверсии энергии растениеводческой продукции в товарную, в долях от единицы;

– затраты техногенной энергии на производство товарной продукции ($E_{\text{тех}}$), ГДж;

– энергетический коэффициент производства товарной продукции ($E_{\text{мп}}/E_{\text{тех}}$), в долях от единицы;

- выход валовой энергии органического вещества для производства кормов, ГДж;
- выход валовой энергии готовых кормов, ГДж;
- коэффициент биоконверсии растениеводческой продукции в корма (E_k/E_{psc}) в долях от единицы;
- выход валовой энергии животноводческой продукции с кормовой площади, ГДж;
- коэффициент биоконверсии энергии растениеводческой продукции в энергию продукции животноводства (молоко, мясо, шерсть и др.), в долях от единицы, ($E_{пж}/E_{psc}$). При расчетах принимается выход валовой энергии растениеводческого сырья для производства кормов. Можно также определять выход энергии животноводческой продукции по энергии готовых кормов;
- затраты техногенной энергии на выращивание растительного сырья, уборку и приготовление кормов ($E_{тех}$), ГДж;
- условный энергетический коэффициент производства животноводческой продукции ($E_{пж}/E_{тех}$), в долях от единицы.

Основные показатели энергетического баланса почвы включают:

- валовые запасы энергии в почве, в т. ч. гумуса, ГДж;
- валовое количество энергии, поступающее в почву с растительными остатками, соломой, сидератами, органическими удобрениями, ГДж;
- трансформацию поступающей валовой энергии в гумус, ГДж;
- трансформацию поступающей валовой энергии в гумифицированные и негумифицированные растительные остатки, ГДж;
- рассеивание валовой энергии в процессе минерализации органического вещества почвы, ГДж;
- валовую энергию минерализованного гумуса почвы, ГДж;
- прирост (убыль) энергии гумуса почвы, \pm ГДж;
- коэффициент биоконверсии поступающей в почву валовой энергии в энергию гумуса, в долях от единицы (\pm).

Основные параметры эффективности потоков энергии в кормовых агроэкосистемах: основная задача — определить баланс энергии и вещества, характеризующий степень рециркуляции потоков внут-

ри системы («замкнутость» системы); степень использования валовой энергии на производство продукции, степень отчуждения валовой энергии из системы с товарной продукцией растениеводства и животноводства; потери энергии в период биоконверсионных процессов при производстве продукции, минерализацию органического вещества почвы и прочие:

– коэффициент рециркуляции валовой энергии («замкнутость» системы), в долях от единицы;

– коэффициент трансформации валовой энергии в продовольственную продукцию, в долях от единицы.

При обосновании оптимизационных моделей функционирования агроэкосистем необходимо обеспечить максимальное использование энергии на производство продукции растениеводства и животноводства, воспроизводство энергетического и вещественного потенциала агроландшафтов, минимизацию потерь энергии, рассеиваемой в процессе производства продукции и минерализации органического вещества почвы. При нарушении этих требований эффективность функционирования агроэкосистем будет снижаться.

6.3. Определение энергии органического вещества

В основу агроэнергетического анализа потоков энергии и вещества в агроэкосистемах положена аналитическая работа по определению энергии в органическом веществе растительного и животного происхождения. Энергия органического вещества определяется калориметрическим методом или по химическому составу. Определение энергии путем сжигания образца в калориметре является предпочтительным, поскольку расчетный метод по химическому составу основан на коэффициентах с определенными допущениями.

Валовая энергия определяется в растительном и животном органическом веществе, которое не используется для производства кормов: товарная продукция (зерно, семена, технические культуры, корма, мясо, молоко, шерсть и др.); органическое вещество, используемое для воспроизводства почвенного плодородия (растительные остатки, сидераты,

солома, органические удобрения и др.); органическое вещество почвы (гумус, негумифицированное органическое вещество).

Валовая и обменная энергия определяется в растительном сырье и готовых кормах, используемых для производства животноводческой продукции. Валовую и обменную энергию в таком растительном сырье целесообразно определять по химическому составу. Поскольку содержание основных питательных веществ (безазотистые экстрактивные вещества — БЭВ, клетчатка, протеин, жир) и их соотношение в рационах животных определяют уровень их продуктивности и эффективности использования кормовых средств.

Энергию в органическом веществе можно определить по содержанию протеина, жира, клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ. Для этого необходимо знать калорийность или содержание валовой энергии каждого вида питательных веществ, их содержание в органических образцах.

Так, выделение калорий при сжигании 1 г питательных веществ составляет:

протеин грубых кормов.....	4300 кал = 18003 Дж
концентраты.....	4500 кал = 18841 Дж
жир грубых кормов.....	7800 кал = 32657 Дж
зерно.....	8300 кал = 34750 Дж
масличные.....	8800 кал = 36844 Дж
корма животного происхождения.....	9300 кал = 38937 Дж
безазотистые экстрактивные вещества.....	3700 кал = 15491 Дж
клетчатка.....	2900 кал = 12142 Дж

В таблице 4 для примера приводится биохимический состав кормовых бобов.

4. Биохимический состав кормовых бобов

	Вода	Зола	Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ
Кормовые бобы, %	14,0	4,5	33,0	17,4	5,2	25,9
В 1 г кормовых бобов, г	0,14	0,045	0,33	0,174	0,052	0,259

Содержание калорий:

в 1 г протеина — 4500, в 0,33 г — 1485,

в 1 г жира зерновых кормов — 8300, в 0,174 г — 1444,2,
в 1 г клетчатки зерновых кормов — 2900, в 0,052 г — 150,8,
в 1 г БЭВ — 3700, в 0,259 г — 958,3.

Суммируя полученные данные о содержании калорий в каждом питательном веществе, получаем количество калорий, содержащихся в одном грамме кормовых бобов:

протеин.....	1485,0 кал
жир.....	1444,2 кал
клетчатка.....	150,8 кал
<u>БЭВ.....</u>	<u>958,3 кал</u>
Сумма.....	4038,3 кал.

Чтобы перевести калории в джоули, необходимо содержание энергии, выраженное в калориях, умножить на коэффициент 4,1876 (одна калория равна 4,1876 Дж). В нашем примере 1 г кормовых бобов содержит 4038,3 кал или 16907,55 Дж. В 1 кг кормовых бобов содержится 1690755 Дж или 16,9 МДж (1 МДж = 1000000 джоулей). Для перевода джоулей в калории используют коэффициент 0,2388 (1 джоуль равен 0,2388 кал).

Обменную энергию определяют также расчетным методом по уравнениям регрессии, используя данные опытов по изучению переваримости питательных веществ кормов и рационов. Для расчетов в сухом органическом веществе определяется содержание питательных веществ: протеина, жира, клетчатки и золы.

Содержание питательных веществ в растительном сырье определяется общепринятыми методами: клетчатка по Геннебергу и Штоману и его ускоренными модификациями; жир — посредством его извлечения органическими растворителями; зола — посредством сжигания навески и последующего прокаливания пробы; сырая клетчатка — методом Кьельдаля или фотометрическим индофенольным.

Содержание безазотистых экстрактивных веществ вычисляется по формуле:

$$\text{БЭВ} = 1000 - \text{СК} - \text{СЖ} - \text{СЗ},$$

где СК — сырая клетчатка, г;

СЖ — сырой жир, г;

СЗ — сырая зола, г

Содержание обменной энергии для крупного рогатого скота вычисляют по следующим формулам (В. М. Косолапов, В. А. Чуйков и др., 2014).

Зеленые корма:

$$ОЭ = 0,0166 \cdot СП + 0,0172 \cdot СЖ + 0,00286 \cdot СК + 0,01159 \cdot БЭВ.$$

Грубые корма (сено, сенная резка, сенаж, солома, силос 5%-ной влажности и другие грубые корма):

$$ОЭ = 0,0212 \cdot СП + 0,020486 \cdot СЖ + 0,00159 \cdot СК + 0,0105 \cdot БЭВ.$$

Сочные корма (корнеклубнеплоды, силос высокой влажности):

$$ОЭ = 0,0151 \cdot СП + 0,01378 \cdot СЖ + 0,00328 \cdot СК + 0,01265 \cdot БЭВ.$$

Концентрированные корма (зерно злаков и бобовых культур, дерть, мука):

$$ОЭ = 0,02085 \cdot СП + 0,01715 \cdot СЖ + 0,001865 \cdot СК + 0,01226 \cdot БЭВ.$$

Технические отходы перерабатывающей промышленности (жмыхи, шроты, дробина, барда, сухие корнеплоды, отруби и др.):

$$ОЭ = 0,02157 \cdot СП + 0,01667 \cdot СЖ + 0,003772 \cdot СК + 0,01074 \cdot БЭВ.$$

Корма животного и микробного происхождения (молочные, мясные, рыбные продукты, дрожжи и др.):

$$ОЭ = 0,02461 \cdot СП + 0,02025 \cdot СЖ + 0,009769 \cdot СК + 0,00671 \cdot БЭВ.$$

6.4. Определение содержания азота и сырого протеина в органическом веществе

Для определения содержания общего азота наиболее часто применяются методы Кьельдаля и фотометрический индофенольный.

Основу метода составляет разложение органического вещества кипящей концентрированной серной кислотой в присутствии катализаторов с образованием солей аммония. Добавлением щелочи аммоний переводят в аммиак, который вновь связывают кислотой и титруют. Сырой протеин определяют по содержанию в органическом веществе общего азота. Сырой протеин состоит из белков и амидов. Амиды включают нитраты, нитриты, содержащие азот гликозиды, свободные аминокислоты и их соли. Амиды используются микрофлорой рубца крупного рогатого скота для построения своего тела. В дальнейшем микробный белок переваривается и используется животным.

Показатели содержания азота пересчитывают на сырой протеин по следующей формуле:

$$\text{СП} = 6,25 \cdot x,$$

где 6,25 – коэффициент пересчета общего азота на сырой протеин;

x – массовая доля азота в пробе, %.

6.5. Определение затрат техногенной энергии

Затраты антропогенной энергии, направленной на активизацию фотосинтеза растений, являются важнейшей составной частью потоков энергии и вещества в агроэкосистемах. В естественных условиях продуктивность растительного покрова в среднем не превышает 0,8–1,0 т/га сухого вещества. Современные технологии позволяют увеличить продуктивность фотосинтеза до 10–12 т/га сухого вещества и выше. Наиболее действенными факторами оптимизации фотосинтетической деятельности посевов являются орошение и осушение, удобрения, защита посевов от вредителей и болезней, обработка почвы, видовой и сортовой состав культур, структура посевных площадей и система севооборотов.

Как уже отмечалось, антропогенная энергия включает энергетические овеществленные затраты на производство материально-технических средств, которые переносятся в затраты при их применении по частям по мере амортизации (машины, орудия, оборудования и др.); материально-технические ресурсы прямого действия (удобрения, мелиоранты, пестициды, семена и др.), энергетические затраты, которые полностью переносятся в затраты в год применения. Материально-технические ресурсы прямого действия (удобрения минеральные и органические, мелиоранты и др.) могут оказывать последствие на продуктивность полевых культур, естественных и культурных кормовых угодий в течение ряда лет. При наличии объективных данных по их последствию энергетические затраты, связанные с их применением, могут распределяться на ряд культур. Энергетические затраты трудовых ресурсов имеют прямое действие при выполнении технологических операций.

По всем видам антропогенной энергии применяются энергетические эквиваленты, которые определяют затраты энергии в единицу экс-

плуатационного времени и затраты энергии на производство единицы применяемых средств.

6.6. Методика оценки эффективности структуры посевных площадей и севооборотов по выходу условной продукции

В основу методики расчета положены нормативы расхода сухого вещества и сырого протеина на определенный уровень продуктивности молочного скота (табл. 5); показатели выхода сухого вещества и сырого протеина с единицы площади, а также концентрация обменной энергии (ОЭ) в сухом веществе.

5. Нормативный расход СВ (т) и СП (кг) в зависимости от концентрации обменной энергии в сухом веществе и продуктивности животных (масса коровы — 500 кг; энергетическая ценность молока — 3 МДж/кг)

Концентрация ОЭ, МДж/кг СВ	Удой, т									
	2		3		4		5		6	
	СВ	СП	СВ	СП	СВ	СП	СВ	СП	СВ	СП
9	3,69	395	4,32	472	4,95	575	—	—	—	—
10	3,15	363	3,69	435	4,32	520	4,77	590	5,31	670
11	2,88	336	3,33	399	3,78	473	4,23	536	4,59	617
12	2,61	318	2,97	371	3,42	440	3,78	503	4,05	579

Порядок расчета приводится в таблице 6. Для этого определяется выход сухого вещества и протеина с 1 га севооборотной площади, содержание обменной энергии в сухом веществе. По таблице 5 устанавливаются нормативы расхода сухого вещества и протеина на планируемый удой от одной коровы. При показателях концентрации ОЭ в сухом веществе с десятичной дробью нормативный расход СВ и ОЭ уточняется по пропорциональной зависимости между целыми величинами. При этом следует учитывать, что чем выше концентрация ОЭ, тем меньше расход сухого вещества и протеина на планируемый удой.

Делением выхода сухого вещества и протеина с 1 га на их нормативный расход устанавливается количество условных голов молочного скота, которое можно содержать на единице севооборотной площади.

Выход условной животноводческой продукции определяется произведением количества голов на планируемую продуктивность.

Например, выход сухого вещества с 1 га зернотравянопропашного севооборота позволяет содержать 1,8, а выход протеина — 1,7 головы крупного рогатого скота. Следовательно, при удое 4 т на голову выход условной продукции с 1 га севооборотной площади составит соответственно 7,2 и 6,8 т. Окончательный уровень продуктивности приводится по лимитирующему фактору (в данном случае протеину). Данные показывают также, что в зернотравянопропашном севообороте фактором, лимитирующим продуктивность животных, является недостаток протеина, а в зернотравяном — обменной энергии.

При наличии затрат на выращивание, уборку и заготовку кормов, а также показателей выхода сухого вещества и протеина с готовыми кормами можно прогнозировать фактический выход животноводческой продукции с единицы площади севооборота, а также окупаемость затрат антропогенной энергии. Например, в зернотравянопропашном севообороте фактический выход молока может составить 4,8 т или 14,4 ГДж с гектара (4,8 т × 3 ГДж). При суммарных затратах антропогенной энергии на технологические процессы 37,5 ГДж/га, коэффициент энергетической эффективности составит 0,4 единицы (14,4 : 37,5 = 0,4), то есть на единицу затраченной энергии антропогенного происхождения получаем 0,4 единицы животноводческой продукции (табл. 6).

**6. Расчет выхода условной животноводческой продукции (молока)
в зависимости от продуктивности севооборота
и концентрации обменной энергии в сухом веществе**

Севооборот	Выход с 1 га		Концентрация в 1 кг сухого вещества ОЭ, МДж	Нормативный расход на одну голову при удое 4 т/год		Количество условных животных, содержащихся на 1 га севооборота при удое 4 т/га		Выход условной животноводческой продукции с 1 га севооборотной площади, т молока	
	сухого вещества, т	сырого протеина, кг		сухого вещества	протеина	по сухому веществу	протеину	по сухому веществу	протеину
Зернотравяно-пропашной	7,1	796	10,9	3,9	478	1,8	1,7	7,2	6,8
Зернотравяной	6,7	901	9,8	4,45	531	1,5	1,7	6,0	6,8

6.7. Основные параметры эффективности агрофитоценозов

Анализ энергетической эффективности полевого агрофитоценоза целесообразно проводить по форме, представленной в таблице 7. В таблице представлены обобщенные энергетические параметры по блокам (производственный, биоконверсионный, почвенный) и обобщенные параметры эффективности использования энергии в полевом агрофитоценозе. В последнем общем блоке параметров определяются параметры отчуждаемой из системы энергии с товарной продукцией, рассеиваемой в период биоконверсии производимого органического вещества, его минерализации в почве; определяются коэффициенты рециркуляции энергии в системе («замкнутость системы» как отношение поступающей в систему стабильной энергии к общему ее производству — $55,77 : 203,27 = 0,27$); коэффициент трансформации (биоконверсии) энергии в продовольственную продукцию.

7. Агрэнергетическая эффективность полевого агрофитоценоза

Показатели	Параметры
Основные параметры и эффективность производственного процесса	
Количество энергии ФАР за период вегетации, ($E_{\text{фар}}$) ГДж/га	19520
Выход валовой энергии полевого агрофитоценоза ($E_{\text{рп}}$)	203,27
в т. ч. растениеводческая продукция, всего	110,61
товарные цели	21,04
семена	1,96
подстилка	13,64
удобрение	14,47
производство кормов	59,50
корневые и растительные остатки	92,66
Затраты техногенной энергии на выращивание и уборку ($E_{\text{тех}}$), ГДж	21,30
Энергетический коэффициент ($E_{\text{рп}}/E_{\text{тех}}$)	9,54
на производство растениеводческой продукции	5,19
Коэффициент использования ФАР ($E_{\text{рп}}/E_{\text{фар}}$)	1,04
на производство растениеводческой продукции	0,57
Эффективность биоконверсии растениеводческой продукции в производственных циклах	
Площадь полевого агрофитоценоза, га	1500
Удельный вес площади для производства товарной продукции, в долях от единицы	0,30
Выход энергии товарной продукции ($E_{\text{тп}}$), ГДж/га	69,10

Продолжение таблицы 7

Показатели	Параметры
Коэффициент биоконверсии растениеводческой продукции в товарную, в долях от единицы	~1,0
Затраты техногенной энергии на производство товарной продукции ($E_{\text{тех}}$), ГДж	27,49
Энергетический коэффициент ($E_{\text{тп}}/E_{\text{тех}}$)	2,51
Удельный вес площадей для производства кормов, в долях от единицы	0,66
Выход валовой энергии органического вещества, ГДж/га	
для производства кормов ($E_{\text{рск}}$)	90,08
готовых кормов ($E_{\text{к}}$) 72,45	72,45
Коэффициент биоконверсии растениеводческой продукции в корма ($E_{\text{к}}/E_{\text{рск}}$)	0,80
Выход валовой энергии животноводческой продукции с пашни ($E_{\text{пжк}}$), ГДж/га	25,31
в т. ч. товарной продукции ($E_{\text{тпж}}$)	20,00
Коэффициент биоконверсии энергии растениеводческой продукции в продукцию животноводства ($E_{\text{пж}}/E_{\text{рск}}$)	0,28
Затраты техногенной энергии на выращивание культур, уборку и приготовление кормов ($E_{\text{тех}}$), ГДж/га	24,42
Условный энергетический коэффициент производства животноводческой продукции ($E_{\text{пж}}/E_{\text{тех}}$)	1,04
Энергетический баланс почвы	
Постоянные запасы энергии в почве, ГДж/га	1706,6
в т. ч. гумуса	1672,2
Общее количество энергии, поступающее в почву, ГДж/га	133,4
Трансформируется: в гумус, ГДж/га	17,86
в гумифицированные и негумифицированные растительные остатки, ГДж/га	34,40
Рассеивается в процессе минерализации (энтропия), ГДж/га	81,14
Энергия минерализованного гумуса, ГДж/га	13,06
Прибавка (убыль) энергии гумуса в почве (\pm ГДж/год)	+4,80
Коэффициент биоконверсии поступающей в почву энергии в гумус (17,86/133,4), в долях от единицы	0,134
Параметры и эффективность использования энергии в полевых агрофитоценозах, ГДж/га	
Производство энергии, всего ($E_{\text{пац}}$)	203,27
в т. ч. с растениеводческой продукцией ($E_{\text{рп}}$)	110,61

Показатели	Параметры
Поступает в систему (энергия рециркуляции – E_p), всего, в т. ч.	55,77
с продукцией животноводства ($E_{рж}$)	3,51
с негумифицированными и гумифицированными остатками	34,40
трансформируется в гумус	17,86
Отчуждается из системы ($E_{отж}$), в т. ч.	147,50
с товарной продукцией растениеводства ($E_{тпр}$)	21,04
животноводства ($E_{тпж}$)	13,21
рассеивается в период биоконверсионных процессов производства животноводческой продукции, включая энергию, трансформируемую в органические удобрения (энтропия)	28,45
рассеивается при минерализации органического вещества в почве	81,14
неучтенные потери	3,66
Коэффициент рециркуляции энергии («замкнутость» систем) ($E_p/E_{паци}$)	0,27
Коэффициент трансформации энергии в продовольственную продукцию ($E_{рж} + E_{тпр} + E_{тпж}/E_{рп}$)	0,34

На основании обобщенных данных анализируется энергетическая эффективность системы, разрабатываются мероприятия по эффективному использованию энергии в веществе при производстве продовольствия и воспроизводству агроэкосистемы.

Так, полученные данные показывают, что анализируемый полевой агрофитоценоз характеризуется относительно низким коэффициентом использования ФАР (0,57 %) при производстве растениеводческой продукции; достаточно высоким коэффициентом окупаемости затраченной техногенной энергии (5,19). Для производства товарной продукции растениеводства используется 30 % площади пашни, животноводческой продукции — 66 %; коэффициент биоконверсии растениеводческой продукции в товарную близок к единице, в животноводческую — не превышает 0,28; окупаемость затрат техногенной энергии при производстве товарной продукции составляет 2,51, животноводческой продукции — 1,04.

Для анализируемого полевого агрофитоценотического сообщества характерен положительный энергетический баланс почвы (+ 4,8 ГДж в

год); коэффициент биоконверсии поступающей в почву энергии в энергию гумуса составляет 0,134.

Общее количество энергии, производимой полевым агрофитоценозом, составляет 203,27 ГДж/га; поступает в систему (энергия рециркуляции) 55,77 ГДж/га, коэффициент рециркуляции энергии («замкнутость системы») не превышает 0,27; отчуждается из системы (энтропия) 147,5 ГДж/га, в том числе с товарной продукцией — 34,25 ГДж/га; рассеивается в период биоконверсионных процессов производства животноводческой продукции и минерализации органического вещества в почве 109,59 ГДж/га.

Таким образом, для повышения энергетического уровня и устойчивости круговорота энергии в агрофитоценоотическом сообществе необходимы приемы, обеспечивающие повышение коэффициентов трансформации энергии в гумус, негумифицированные и гумифицированные растительные остатки, снижение энтропии энергии органического вещества; повышение эффективности производства — приемы и технологии, увеличивающие коэффициенты биоконверсии энергии растениеводческой продукции в энергию товарной продукции при снижении техногенных затрат.

По данной методике и разработанной схеме в агроэкосистемах можно анализировать потоки углерода, азота, зольных макро- и микроэлементов. Подробное изложение расчетов приведено в работе «Агроэнергетический анализ в специализированных животноводческих хозяйствах» (М., 2021).

7. ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

Лизиметрические исследования с кормовыми культурами особенно важны в стационарных опытах по изучению систем кормопроизводства и кормовых севооборотов, а также при изучении почвенных режимов на отдельных участках агроландшафтных систем. Такие исследования проводятся на делянках опыта, на специально оборудованных площадях и лизиметрических станциях.

Основные задачи лизиметрических исследований:

- изучение круговорота и баланса элементов питания растений в системе «почва–удобрения–растения–вода» с целью повышения эффективности использования удобрений и разработки предложений по охране окружающей среды;
- выявление особенностей трансформации органических веществ и углерода, различных солей в почве, их влияния на направленность и интенсивность почвенных процессов, миграцию питательных веществ по почвенному профилю и др.;
- изучение режима и размеров суммарного и продуктивного водопотребления кормовых культур по фазам развития и за отдельные периоды при моделировании различных условий по влагообеспеченности вегетационного периода и орошении.

Виды и размещение лизиметров. В почвенных и агрохимических исследованиях применяют открытые лизиметрические установки типа воронок Эбермайера, плосковрезные совкообразные лизиметры Е. И. Шиловой (1955), лотки различных размеров, а также хроматографические колонки в виде ящичков без дна и крышки, трубки различных диаметров и другие модификации.

Наиболее объективные результаты по количеству и качеству почвенного раствора с определенной площади обеспечивают лизиметры закрытого типа. Они могут быть квадратными, круглыми, прямоугольными, различной площади и глубины, изготовленными из разнообразных материалов (бетонные, металлические, пластмассовые и т. д.). Почву в лизиметры помещают либо с нарушением естественного сложения, либо в виде монолитов. В качестве фильтрующего материала в таких ли-

лизиметрах используют нейтральные материалы с гранулами размерами 3–5 мм. Приемниками инфильтрата служат емкости из полиэтилена или стекла, они закапываются в почву или устанавливаются в специально построенных контейнерах-шахтах. Воду из них по мере накопления откачивают вакуумным насосом. Для отвода воды из лизиметров в приемники используют резиновый или пластмассовый рукав диаметром 9–12 мм, помещенный в металлическую трубу.

Размещают лизиметры на площадке, предусмотрев отсутствие попадания на нее талых вод и застаивания осадков. От зданий, лесополос и других объектов, влияющих на направление ветра и затеняющих растения, лизиметры располагают не ближе 30 м. Между лизиметрами необходимо соблюдать расстояние от 25 до 40 см для того, чтобы возможная установка засушников, или крышек для отбора газов из почвы не влияла на лизиметры, стоящие рядом. Вокруг лизиметров и на прилегающей к ним площадке шириной 2–2,5 м высевают те же культуры, что и в лизиметрах при одинаковом уходе за ними.

Размеры лизиметров (площадь и глубину) определяют необходимостью моделировать естественные условия роста и развития растений, состояние почвы и грунта. При изучении круговорота и баланса питательных веществ глубина лизиметра может колебаться в зависимости от задач исследования от 0,7 до 3,5 м. Площадь лизиметров для изучения почвенных процессов под пропашными крупностебельными кормовыми культурами должна быть не менее 2–4 м², то есть равной двум–четырем и более междурядьям. Для работы с зерновыми культурами и травами можно использовать лизиметры значительно меньших размеров (0,25–0,30 м²).

Условия проведения опытов. Схемы опытов выбирают в зависимости от целей и задач исследований. Опыты могут быть одно- двух- и трехфакторные, заложенные по принципу единственного различия. Для наиболее объективной экстраполяции результатов лизиметрические исследования проводят на почвах по плодородию и генезису одинаковых с теми, где проводят полевые опыты по близким схемам.

Для получения большей информации необходимо создавать сравнительно контрастные условия в лизиметрах. Один из путей этого — отбор из большого числа вариантов в полевом опыте для исследования

в лизиметрах наиболее различающихся между собой по градациям факторов (нормы удобрений, орошения, известкования и т. д.). Варианты со слишком низкими нормами как минеральных, так и органических удобрений применять не следует, так как на фоне N_{60} и ниже инфильтрация азота почти полностью отсутствует не только в посевах, но и в парующих почвах. В настоящее время также установлено, что в условиях промывного водного режима внесение аммонийных и калийных удобрений в запас на фоне извести увеличивает миграцию не только извести, но и самих удобрений. Это также необходимо учитывать при разработке схемы опытов в лизиметрах.

Варианты на лизиметрической площадке располагают методом рандомизации. Повторность в лизиметрических исследованиях должна быть как минимум трех-четырекратная.

Обработку почвы в лизиметрах проводят вручную. В опытах с однолетними культурами после проведения всех сопутствующих наблюдений осенью почву следует перекопать на глубину пахотного слоя. Весной проводят рыхление, выравнивание и легкое уплотнение поверхности. Семена к посеву готовят как в вегетационных опытах, калибруют и отвешивают отдельно на каждый лизиметр. Навески семян в соответствии с нормой высева увеличивают на 10–15 % для прореживания, затем проращивают до состояния наклевывания и высевают вручную на оптимальную глубину. При появлении двух–трех листьев растения прореживают, оставляя строго одинаковое их количество с возможно равным состоянием развития. Чтобы молодые растения не повреждались вредителями и болезнями, следует предусматривать соответствующие меры борьбы. В дальнейшем уход за опытной культурой должен быть максимально приближен к полевым условиям.

Наблюдения и учеты. Для характеристики почвы перед закладкой лизиметрических опытов устанавливают ее тип, механический состав, а также данные основных агрохимических анализов (см. раздел «Основные положения методики полевого опыта»). Кроме этого, для получения более детальных сведений о почве обязательно определяют фракционный состав гумуса, содержание азота, фосфора и калия, фактор дисперсности (k) по Качинскому, исходные физические и водные характеристики (объемную и удельную массу, водопрочность структу-

ры, влагоемкость, водопроницаемость, влажность завядания). Эти показатели определяют в соответствии с методиками, изложенными в руководствах Н. Г. Зырина и Ф. С. Орлова «Физико-химические методы исследований почв» (М., 1964) и «Агрохимические методы исследований почв» (М., 1975).

Влажность почвы в лизиметрах определяют как с отбором образца из общей массы почвы, так и непосредственно в самой почве. В первом случае влажность почвы определяют термостатно-весовым методом с взятием микропроб по Н. А. Соколовской (Сборник трудов по агрономической физике, 1961, вып. 19); во втором — с использованием тензиометрического или радиоактивного метода по соответствующим методикам, прилагаемым к приборам.

Для характеристики состояния растений от всходов до уборки в лизиметрах проводят фенологические наблюдения, а также определяют густоту стояния растений, освещенность, площадь листьев и интенсивность фотосинтеза (см. раздел «Многолетние травы»).

При учете органического вещества кормовых культур определяют массу растений, отчуждаемых с урожаем, послеуборочных остатков, корней, растений и сорняков, удаленных во время прореживания и прополок, опавших органов растений (листья, неоплодотворенные завязи, недоразвившиеся плоды) и отмерших, но сохранившихся на растениях органов. Зерновые культуры срезают на высоте 15 см, травы — 5 см от поверхности почвы. В урожае учитывают отдельно зерно, клубни, корнеплоды, солому, используемые на силос части ботвы, листьев и т. д. Отбор проб для анализа проводят во время уборки. В пробах определяют содержание абсолютно сухого вещества.

Для изучения биологического круговорота азота и зольных элементов особенно большое значение имеет точный учет массы корней растений. Из одного лизиметра не рекомендуется отбирать слишком большую массу корней, так как это может привести к значительному уменьшению мощности пахотного слоя и изменению агрофизических и химических свойств почвы. В этом случае лучше составлять средний образец по повторностям.

Учет органической массы и химический анализ, необходимый для изучения круговорота и баланса углерода, азота и зольных элементов,

проводят в соответствии с «Методическими указаниями к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах» (Л. Е. Родин и др., 1968).

Атмосферные осадки учитывают на опытной площадке или в непосредственной близости от нее (не далее 200 м). При этом учитывают, что близко расположенные котельные, заводы, навозохранилища, скотные дворы искажают результаты химического состава осадков. В качестве руководства по учету атмосферных осадков и их химического состава рекомендуется использовать «Методические указания по сбору и хранению проб атмосферных осадков» (Л., 1967).

Учет количества лизиметрических вод не должен ограничиваться вегетационными периодами, так как вымывание элементов (кальция, магния, серы и др.) происходит в ранневесенний и осенний периоды. Учет инфильтрационных вод необходимо проводить сразу после выпадения осадков, а весной и осенью — ежедневно.

При отборе воды для химического анализа необходимо соблюдать следующие условия: проба воды, взятая для анализа, должна отражать условия варианта опыта; отбор пробы, хранение, транспортировку и работу с ней проводят так, чтобы не произошло изменений в содержании определяемых компонентов или в свойствах воды; объем воды должен быть достаточным и соответствовать применяемой методике анализа.

Химический анализ инфильтрата следует проводить сразу после отбора, так как при хранении его даже в холодильнике протекают микробиологические процессы, меняющие химический состав, поскольку универсального консервирующего средства не существует. Пробы воды отбирают в стеклянные или полиэтиленовые бутылки вместимостью не менее 1 л, предварительно тщательно отмытые и ополоснутые отбираемой водой. Надписи на бутылках делают нестирающейся краской.

В лизиметрических водах целесообразно определять кислотность, прозрачность, окисляемость, содержание нитратного, аммиачного и общего азота, фосфора в минеральной и органической форме, калия, кальция, магния, отдельных микроэлементов. Если проводят специальные исследования по почвоведению (изучают характер миграции водорастворимого органического вещества, оглеение, подзолообразование и др.), то в водах дополнительно определяют содержание органического

вещества, железа, алюминия, марганца, кислорода. В зависимости от целей исследований проводят и другие специальные анализы.

Определение названных компонентов в инфильтрационных водах рекомендуется проводить по методике «Унифицированные методы анализа вод» (М., 1973). Пользоваться методиками для определения химического состава водных и солевых вытяжек из почвы, а также почвенного раствора нежелательно, так как они в этом случае дают искаженные результаты.

Газообразные потери азота определяют с применением метки ^{15}N . Их можно вычленивать при расчетах баланса азота в почве, а также непосредственно определять с помощью газовых лизиметров. Устройство и принцип работы газовых лизиметров описаны Н. И. Борисовой, Б. Н. Родионовым и О. Л. Кирпановым (Почвоведение, 1972, № 2). Такие наблюдения целесообразно проводить при изучении баланса азота удобрений при орошении и использовании сточных вод.

Кроме этого, в балансовых исследованиях довольно заметной приходной статьей является фиксация азота атмосферы свободноживущими почвенными микроорганизмами. Поэтому специальные микробиологические исследования по этому вопросу, проведенные в лизиметрах, могут значительно дополнить данные по балансу элементов питания, а следовательно, способствовать рациональному использованию удобрений.

На основании наблюдений за биологическим круговоротом углерода, азота и зольных элементов в системе «атмосферные осадки–почва–удобрение–вода–растение» составляют как хозяйственный, так и полный их баланс в почве.

Хозяйственный баланс включает следующие основные приходные статьи: поступление питательных веществ в почву с удобрениями, семенами, поливной водой, за счет фиксации бобовыми культурами, и с послеуборочными остатками (включая корни) и расходные: вынос элементов питания из почвы с урожаем, вымывание за пределы верхних слоев почвы, улетучивание азота.

Если же в лизиметрах изучают пищевой режим почвы до и после проведения исследований круговорота веществ, то это позволяет рассчитать изменения баланса элементов питания в результате проведен-

ных мероприятий за несколько лет. Чем больше изучаются статьи прихода и расхода, тем объективнее будет информация по полному балансу элементов питания.

В настоящее время лизиметрический метод широко применяют и в водобалансовых исследованиях, для проведения которых используют компенсационные испарители. Описание конструкций этих лизиметров и методика проведения водобалансовых исследований с их применением подробно изложена в работах С. И. Харченко (1966) и Л. С. Субботина (1966).

В исследованиях, проводимых с помощью компенсационных испарителей, определяют водный баланс корнеобитаемого слоя и водопотребление; изучают влияние водного режима на основные показатели плодородия почвы (биохимические и микробиологические процессы), продуктивность и качество выращиваемых культур.

Для определения оптимального водно-воздушного режима активного слоя почвы необходимо знать величину водопотребления. В течение вегетационного периода этот показатель изменяется, поэтому определение его необходимо планировать или по основным фазам развития растений, или к условным промежуткам времени (сутки, декада, месяц и т. д.). Водопотребление определяют по коэффициенту водопотребления и урожайности. Необходимый для расчетов показатель суммарного испарения (E , мм) определяют по формуле:

$$E = O_c + D - O \pm B,$$

где O_c – атмосферные осадки, мм;

D – количество долитой в лизиметры воды, мм;

O – количество отлитой из лизиметров воды, мм;

B – водоотдача, определяемая эмпирически, мм.

При подъеме грунтовых вод этот показатель носит отрицательный знак, а при опускании – положительный.

С учетом запасов влаги суммарное испарение (E) рассчитывают по формуле:

$$E = O_c + D - O \pm W_{\Delta},$$

где $W_{\Delta} = W_H - W_K$ – изменение запасов влаги в лизиметре за расчетный период, мм;

W_H, W_K – запасы воды в лизиметре в начале и конце расчетного периода, мм.

Для определения транспирации растений и испарения с почвы целесообразно иметь группу лизиметров, в которых вместо растений ставят их муляжи.

Влияние водного режима почвы на основные показатели ее плодородия (биохимические и микробиологические процессы), физиологические процессы, протекающие в растениях, продуктивность и качество кормовых культур определяют по общепринятым или указанным выше методикам.

Схемы опытов в водобалансовых исследованиях разрабатывают по такому же принципу, как и в агротехнических, то есть преимущественно имитируют схемы полевых опытов.

При установлении оптимального водного режима корнеобитаемого слоя почвы необходимо знать возможные изменения количества осадков по годам и закономерности таких изменений. Для оценки влияния на урожай и его качество количества осадков, выпавших за вегетационный период в годы различной водообеспеченности, в схемах опыта можно смоделировать условия средне-, сильнозасушливого и влажного годов.

8. ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ С КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ ПРИ ОРОШЕНИИ

При планировании полевых опытов на орошаемых землях необходимо учитывать ряд особенностей, вытекающих из специфики поливного земледелия (выбор участка, форма, размер делянок и их расположение, повторность, техника полива и др.).

Особенностью постановки полевых опытов в условиях орошения является оценка эффективности изучаемых приемов и технологий не только по количеству и качеству продукции, но и по использованию поливной воды.

Опыты могут быть однофакторными и многофакторными. Предпочтительнее закладывать вторые, так как они позволяют вычлнить роль каждого фактора в отдельности и их совместные действия. Обязательно соблюдение принципов единственного различия и факториальности. Число факторов и их градаций должно соответствовать требованиям методики опытного дела.

В условиях орошения наиболее значимым является фактор снабжения растений водой, затем — питательными веществами, далее — плотность посева.

Градация фактора «режим орошения» обычно определяется нижней градацией предполивного порога влажности в активном слое почвы (0–70 см). Он может быть однородным в течение всей вегетации (80, 70 % НВ) или дифференцированным, выделяющим специфические периоды: с усиленным водоснабжением, ускоряющим созревание урожая и улучшающим его качество.

Оросительные и поливные нормы, а также сроки поливов рассчитывают в зависимости от уровня программируемой урожайности.

Контролем служит вариант без орошения. Нормы удобрений определяют в зависимости от планируемого урожая, применяя апробированные в регионе расчетные методы. Обязателен вариант без внесения удобрений, определяющий величину естественного почвенного плодородия, позволяющий вычислить эффективность применения удобрений (табл. 8).

8. Наиболее распространенная схема опыта в условиях орошения

Режим орошения (Р)	Расчетная норма удобрений на планируемый урожай зерна или зеленой массы	Густота стояния растений перед уборкой (Г)		
		Г ₁	Г ₂	Г ₃
Р ₁	Без удобрений	Г ₁	Г ₂	Г ₃
	У ₁	Г ₁	Г ₂	Г ₃
	У ₂	Г ₁	Г ₂	Г ₃
	У ₃	Г ₁	Г ₂	Г ₃
Р ₂	Без удобрений	Г ₁	Г ₂	Г ₃
	У ₁	Г ₁	Г ₂	Г ₃
	У ₂	Г ₁	Г ₂	Г ₃
	У ₃	Г ₁	Г ₂	Г ₃
Р ₃	и т. д.	Г ₁	Г ₂	Г ₃

Выбор участка. В опытах с орошением к земельному участку предъявляются более жесткие требования по агрохимическим и гидрологическим свойствам. Нетипичность водного режима почвы приводит к существенным различиям в росте, развитии и продуктивности растений. Чтобы избежать этих ошибок, необходимо возможно полная характеристика участка по агрофизическим свойствам и водному режиму почвы. Кроме того, участки, выделяемые под опыты на орошаемых землях, должны быть хорошо спланированы, иметь равномерный и незначительный уклон вдоль поливных борозд. Уклон не должен превышать 1–2 м на 100 м, а еще лучше закладывать опыты с орошением при уклоне 0,1–0,8 м на 100 м.

Для выравнивания поля проводят его тщательную планировку. В дальнейшем проводят ежегодное допосевное выравнивание, используя легкие планировщики (шлейфы, волокуши, бороны и т. п.). Планировку полей лучше проводить до вспашки по глубокому лущению.

Размещение опыта в натуре, площадь, форма и расположение делянок.

Размещение опыта в натуре при орошении определяется в первую очередь принятым способом полива, положением и конфигурацией оросительной сети, а также аналогичными с неорошаемыми условиями показателями: величиной пригодной для опыта площади, размером делянок, способом посева, уборки урожая и др.

Делянки желательно размещать в один ярус, особенно в опытах с удобрениями, что исключает их перенос с поливной водой с одного варианта на другой. При поверхностных способах полива делянки размещают перпендикулярно временному оросителю или выводной борозде, а длина их должна соответствовать длине поливных борозд или полос. При этом все делянки должны пересекать приканальную полосу, центральную часть поливной карты и нижнюю часть.

При поливе дождевальной машиной (типа ДДА) делянки располагают перпендикулярно движению машины и временному оросителю, а длина их должна соответствовать длине крыла дождевальной машины. Такое расположение лучше отражает изменение увлажнения и плодородия почвы, исключает перенос с водой растворенных удобрений, удобно для равномерного полива и учета воды.

Равномерность распределения дождя при поливах стационарными (типа «Сигма») и передвижными (типа «Волжанка») трубопроводами, снабженными вращающимися среднеструйными дождевальными аппаратами, обеспечивается за счет полива одной и той же площади с двух соседних позиций. Поэтому делянки опыта, поливаемые этими машинами, должны располагаться между позициями лучше параллельно, но можно и перпендикулярно последним. Под «Фрегатом» и «Кубанью» делянки лучше располагать параллельно позиции машины (т. е. по радиусам круга), иначе им придется придавать изогнутую форму, чтобы сохранить одинаковое увлажнение по всей длине делянки в случае ее расположения перпендикулярно ходу машины.

Принципиальным вопросом является размещение вариантов по повторностям. В опытах с орошением предпочтение отдают систематическому размещению вариантов, при котором однотипные делянки удалены друг от друга на одинаковое расстояние. При включении в схему опыта неорошаемого варианта (контроль) его целесообразно иметь как на поливном участке, так и на соседнем типичном неполивном, где применяют аналогичную агротехнику. В этом случае исключается влияние метеорологического эффекта от орошения на контрольные делянки, которые нужно располагать с противоположной стороны преобладающему направлению ветров.

При изучении режимов орошения применяют блочное или полосное размещение вариантов. В этом случае каждому изучаемому режиму орошения (вариант) соответствует отдельный блок или полоса, на которой может накладываться другой изучаемый фактор, например, удобрения. Это расположение вариантов приемлемо при условии, что все изучаемые в опыте факторы (орошение и удобрение) повторяются в пространстве. При этом количество повторностей зависит от размера учетной площади делянки.

Полевые опыты следует закладывать на делянках сравнительно небольшого размера, позволяющих нормально и в оптимально сжатые сроки проводить все агротехнические работы. На таких делянках гораздо легче достичь большей достоверности, они удобнее и требуют меньше затрат труда и средств, чем крупные делянки.

В большинстве полевых опытов общую площадь делянки целесообразно устанавливать в пределах 100–400, а учетную — 50–200 м². Отклонение в ту или иную сторону от указанных размеров определяется в основном культурой, агротехникой, способом и техникой полива.

В мелкоделяночных полевых опытах площадь делянок уменьшают до 20–30 м². В лабораторно-полевых опытах форма делянки должна приближаться к квадрату, иначе нельзя будет выделить защитные полосы достаточного размера.

Многолетние опыты целесообразно закладывать на делянках площадью 600–800 м² с таким расчетом, чтобы впоследствии при необходимости введения новых вариантов расщеплять исходные делянки. Иметь более крупные делянки в подобных опытах также нежелательно. Однако иногда этого нельзя избежать. Например, в опытах ВНИИОЗ по изучению различных схем севооборотов поле севооборота (делянки первого порядка) занимает 1800 м² (18 × 100 м). При орошении ДЦА-100 МА меньшую площадь под поле севооборота нельзя было отвести, поскольку оно должно располагаться по обеим сторонам оросителя. Но на каждой стороне оросителя применяют различную систему обработки почвы, разделив этим самым каждое поле поперек надвое. Таким образом, делянки второго порядка составляют здесь 900 м² (18 × 50 м), а в случае расщепления делянок второго порядка делянки третьего порядка должны составить 450 м² (9 × 50 м).

Опытным и учетным делянкам целесообразно придавать форму удлиненного прямоугольника, а опытному участку — форму, близкую к квадрату. В этом случае при любой системе расположения делянок расстояния между вариантами опыта бывают минимальные и сравнимые между собой лучшей.

Чтобы устранить влияние варианта на соседние, обязательно выделяют защитные полосы. В опытах с культурами сплошного рядового посева необходимо исключить из учета как минимум по два рядка с каждой стороны делянки, а с пропашными — по одному рядку. На сильно отличающихся вариантах, например с поливом и без полива, на широкорядных посевах исключают по два рядка с каждой стороны делянки, на сплошных — по 1 м, при изучении удобрений — 2–3 м, а при изучении режима орошения при поливе дождеванием — 12–16 м с каждой стороны. Концевые защитки выделяют шириной 2–4 м. Для разворота машин и орудий с обоих концов делянок выделяют защитные полосы от 5 до 8 м (у оросителя).

Большую часть простых однофакторных и небольших многофакторных полевых опытов с качественными вариантами (сорта, предшественники, способы обработки почвы и т. д.) проводят, как правило, при четырехкратной повторности. В практике опытной работы шестивосьмикратную повторность применяют в опытах, которые закладывают на делянках меньше целесообразных по условиям почвенной типичности размеров и на недостаточно выровненных земельных участках; повторность свыше восьмикратной используется только в особых случаях, на микроделянках (5–10 м²) для доказательства незначительных эффектов вариантов (микроудобрения, регуляторы роста и т. д.).

Когда число вариантов в схеме превышает 10–12, целесообразно в каждом повторении иметь две и более делянки стандарта (контроль), что позволяет значительно повысить точность сравнения опытных вариантов со стандартом.

Проведение опытов без повторности может быть допустимо только в предварительных, рекогносцировочных и демонстрационных опытах.

Поливной режим. Основным вопросом в опытах с орошением является установление оптимального поливного режима кормовых

культур применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям. Это достигается, прежде всего, определением сроков и норм полива, при которых обеспечивается высокая эффективность орошения, удобрений и других агроприемов.

Поливную норму (m , м²/га) определяют, по формуле:

$$m = 100 \cdot H \cdot a \cdot (A - A_1),$$

где H – глубина увлажнения почвы, м;

a – объемная масса почвы, г/см³;

A – наименьшая полевая влагоемкость, %;

A_1 – влажность почвы перед поливом, %.

Поливную норму увеличивают на 10–15 % в расчете на потери воды во время полива (на испарение). Наиболее полно изученным и общепринятым способом определения сроков полива кормовых культур является показатель влажности слоя почвы, в котором размещается основная масса активной корневой системы (расчетный слой).

При определении поливных норм за расчетный (активный) слой почвы для культур с глубокой корневой системой (кукуруза, люцерна, свекла) принимают 0–100 см, для зерновых и зернобобовых — 0–70 см, для культур с меньшей глубиной распространения корневой системы (картофель и др.) — 0–50 см. На дерново-подзолистых почвах, где основная масса корней ограничивается глубиной залегания подзолистого горизонта, за расчетный слой принимают 0–30 см.

Установление сроков полива по влажности почвы требует регулярного (не реже одного раза в 7–10 дней) определения влажности расчетного слоя почвы.

ВНИИОЗ рекомендует влажность почвы определять на постоянных динамических площадках в трехкратной повторности: в начале и конце вегетации на глубину 1 м, в остальные периоды — на глубину 0,6 м. Образцы отбирают через каждые 10 см и сушат 10 часов.

Установлено, что влажность расчетного слоя 0–70 см и 0–100 см для черноземных и темно-каштановых почв практически совпадает с влажностью слоя 30–40 см. Коэффициент корреляции влажности между слоем 30–40 см и расчетным превышает 0,90, что позволяет определять сроки полива сельскохозяйственных культур по запасам влаги в почве на глубине 30–40 см и сократить затраты труда почти в пять раз.

Оросительную норму — количество воды за период вегетации растений (M , $\text{м}^3/\text{га}$) определяют по формуле:

$$M = E - P - A,$$

где E — водопотребление;

P — количество продуктивных осадков за период вегетации;

A — количество влаги, используемой за счет запасов корнеобитаемого слоя.

При определении оросительных и поливных норм, а также частоты поливов для участков с близким уровнем грунтовых вод необходимо учитывать глубину их залегания и минерализацию. В таблице 9 приведены данные Б. А. Шумакова об использовании растениями грунтовых вод ($\text{м}^3/\text{га}$) при разной их минерализации:

9. Использование растениями грунтовых вод ($\text{м}^3/\text{га}$) при разной их минерализации (по Б. А. Шумакову)

Уровень грунтовых вод, м	Пресная	Слабозасоленная
1,0	3500	1300
1,5	2000	800
2,0	1000	400
2,5	500	200
3,5	0	0

В последние годы научные учреждения используют методы установления сроков полива кормовых культур по физиологическим и метеорологическим показателям. Физиологические показатели водного режима, соответствующие определенным уровням влажности почвы, устанавливают опытным путем для каждой культуры в конкретных почвенно-климатических условиях.

Если сроки поливов устанавливают по метеорологическим показателям, то определить недопотребление кормовых культур можно за любой промежуток времени и за весь вегетационный период.

Суммарный расход влаги (E , $\text{м}^3/\text{га}$) от всходов до полного затенения поверхности почвы растениями, а также в период отмирания листового аппарата, например, определяют по формуле:

$$E = \sum t (0,1t_c - \frac{a}{100}),$$

а в остальной период вегетации — по формуле:

$$E = \Sigma t \left[(0,1t_c - (1 - \frac{a}{100})) \right],$$

где Σt – сумма среднесуточных температур воздуха за расчетный период, °С;

t_c – среднесуточная температура воздуха за расчетный период, °С;

a – относительная влажность воздуха, средняя за расчетный период, %.

Расход почвенной влаги можно также установить, используя коэффициент водопотребления культур по декадам и данные ближайшей метеорологической станции, по среднесуточному дефициту влажности воздуха. Расход почвенной влаги (E , м³) за какой-либо промежуток вегетационного периода данной культуры определяют по формуле А. М. Алпатьева:

$$E = K \Sigma d,$$

где Σd – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха

за расчетный период, мм;

K – коэффициент водопотребления для данной культуры за расчетный период.

Чтобы установить коэффициент водопотребления (затраты воды на единицу урожая сухого вещества, м³/т), определяют запасы воды в почве с момента появления всходов или отрастания (многолетних культур) и после уборки урожая. К запасу воды в почве прибавляют поливы, количество осадков за учитываемый период и из суммы вычитают количество воды в почве, оставшееся после уборки урожая.

Запас влаги в почве рассчитывают по формуле:

$$W (\text{м}^3/\text{га}) = 100 \cdot H \cdot d \cdot B,$$

где H – глубина расчетного слоя почвы, м;

d – объемная масса, г/см³;

B – влажность, % от абсолютно сухой почвы.

Обычно глубина расчетного слоя почвы составляет 1 м.

Способы и техника полива. В полевых опытах в зависимости от цели исследований, агротехники возделываемой культуры и других особенностей применяют различные способы полива, но наиболее распространенным является дождевание. Полив опытных участков этим способом имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими способами орошения, но зависит от технических возможностей дождевальных установок.

Существующие дождевальные установки отличаются неравномерным распределением воды. Наиболее несовершенен полив агрегатами с дальнеструйной и короткоструйной насадками (ДЦН-45, ДДН-70, УДС-25, КДТ-25). Вполне приемлемы для проведения опытов дождевальные установки ВДУ-5Ш и ДДА-ЮОМ, на которых установлены дефлекторные короткоструйные насадки. Установку КДУ-55М главным образом используют при проведении исследований в Нечерноземной зоне, где работа ДДА-ЮОМ из-за невыравненного рельефа почвы затруднена.

Для научных целей необходимо применять специальную дождевальную технику. В настоящее время в качестве таковой можно назвать экспериментальную установку ДНК-22, изготовленную во ВНИШитП. В миниатюре это ДДА-ЮОМ, но дополнительно оборудованная нижним поясом для полива низкостебельных культур. Он представляет собой трубопровод диаметром 38 мм, на котором через 2,5 м установлены дефлекторные насадки МОВДС-0,2. Машина может работать мобильно и позиционно.

Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100М более равномерно распределяет воду по поливной площади по сравнению с дальнеструйными дождевателями ДДН-45 и ДЦН-70. Его можно использовать во всех опытах с кормовыми культурами. Делянки при этом располагают узкой стороной к оросителю, а ширина защитных полос должна быть не менее 20 м.

Полив с помощью агрегата ДДА-100М осуществляют при челночном движении трактора вдоль оросителя со скоростью около 400 м/ч. Длина захвата крыльев (консолей) ДДА-100М — 110 м. При силе ветра 1 м/с ширина орошаемой полосы — 10 м; 3–4 м/с — 14–16 м, а свыше 4 м/с — более 20 м. Средняя интенсивность дождя при длине бьефа 100–500 м — 0,6–0,12 мм/мин.

Агрегат ДДА-100М при поливе работает в движении, лишь на посевах кукурузы во второй половине вегетации допускается полив позиционным способом, так как при движении агрегата в этот период высокорослые растения ломаются опорами ферм. Во избежание этого необходимо один–два полива проводить при работе агрегата в движении, а последующие — позиционным способом. Чтобы определить время ра-

боты агрегата на одной позиции, нужно поливную норму умножить на площадь захвата дождем (с учетом перекрытия) и разделить на расход воды. После подачи на поверхность почвы заданного количества воды агрегат в рабочем положении переводят на другую позицию.

Для определения продолжительности работы агрегата ДДА-100М на одной позиции рекомендует пользоваться данными таблицы 10.

10. Продолжительность работы агрегата в зависимости от поливной нормы

Поливная норма, м ³ /га	500	600	700	800	900	1000
Продолжительность работы агрегата, мин	10	12	14	16	18	20

Чтобы исключить потери воды с поверхностным стоком при дождевании пропашных культур, необходимо в каждом междурядье нарезать борозды-щели, которые улучшают водопроницаемость, увеличивают глубину промачивания почвы, способствуют более равномерному поливу. Щелевание междурядий проводят в сочетании с последним слепополивным рыхлением. Щели шириной 2–3 см нарезают в дне борозды на глубину 15–20 см (общая глубина борозды со щелью составляет 35–40 см).

При орошении пропашных культур по бороздам или по полосам с постоянной струей воды рекомендуются следующие параметры (табл. 11).

11. Длина борозд и поливная струя в зависимости от уклона поля

Водопроницаемость почвы	Уклон поверхности поля					
	0,001–0,004		0,004–0,008		0,008–0,012	
	длина борозды, м	поливная струя, л/с	длина борозды, м	поливная струя, л/с	длина борозды, м	поливная струя, л/с
Высокая	50–90	1,4–0,8	90–100	0,8–0,5	110–80	0,6–0,3
Средняя	110–110	1,2–0,6	110–150	0,7–0,4	160–120	0,5–0,3
Слабая	110–120	1,1–0,6	120–200	0,5–0,3	200–130	0,3–0,2

Чтобы улучшить качество поверхностного полива по бороздам и полосам, необходимо использовать поливные трубки и сифоны, гибкие и жесткие трубопроводы, оборудованные регулируемыми водовыпус-

ками, поливные машины (ПШН-165, ПАН-165, СПМ-200, НПМ-200/150).

Учет расхода поливной воды. Правильная постановка опытов при орошении включает регулирование и точный учет количества воды, попадающей на весь опытный участок и на каждую делянку. При поливе по бороздам и напуском по полосам наиболее распространенными водомерами, учитывающими с достаточной точностью расходуемую на полив воду, являются трапецеидальный водомер Чиполетти и водомер-насадка. На поливе с использованием трубопровода с регулируемым водовыпусками воду учитывают замером ее в каждом водовыпуске при помощи мерного сосуда и секундомера.

Трапецеидальный водомер Чиполетти устанавливают поперек канала, вкапывая и укрепляя его так, чтобы полностью избежать подтекания воды и размыва грунта. Порог водомера должен быть строго горизонтальным и перпендикулярным к оси потока, высота порога — не меньше максимального напора воды на водосливе. Скорость прохода воды к водомеру нужно уменьшить, несколько расширив русло канала перед водомером. Величину напора определяют по рейке, устанавливаемой в канале на расстоянии 1–1,5 м перед водомером в стороне от русла потока. Толщина переливающегося слоя воды должна быть не менее $\frac{1}{10}$ и не более $\frac{1}{3}$ ширины порога.

Водослив устанавливают на небольшом расстоянии от опытной делянки, но с таким расчетом, чтобы он не подтоплялся со стороны нижнего бьефа (при малых уклонах и близком расстоянии водослива от делянки неизбежно его подтопление). Нулевое деление рейки устанавливают на уровне порта водомера.

При незначительных уклонах каналов пользуются водомерами-насадками. В металлический или деревянный щит толщиной 3–5 см вделывают конусную насадку (соответственно 3–5 мм) круглого, квадратного или прямоугольного сечения, изготовленную из листового железа толщиной 1–2 мм.

При использовании водомера-насадки для учета воды необходимо соблюдать следующие правила: оба отверстия должны быть затоплены; допустимая разница уровней воды перед насадкой и за ней должна быть от 4 до 30 см; насадку устанавливают строго вертикально и перпенди-

кулярно к направлению потока так, чтобы отверстие ее было приблизительно посередине канала.

Напор воды определяют с помощью двух реек, установленных вертикально с обеих сторон насадки, нулевые отметки их должны быть на одном уровне. Затем определяют количество прошедшей через порог водомера или насадку воды (прил. 4, 6).

При использовании ДДА-100М учет расходуемой на полив воды проводят по установленному на дождевальном агрегате счетчику; если счетчик отсутствует — по количеству проходов поливного агрегата или времени стояния его на месте при поливе позиционным методом. В один проход в среднем расходуется 70 м³/га воды, на пять проходов — 350, за восемь — 560 м³/га и т. п. Контроль равномерности распределения воды по площади и нормой полива при дождевании осуществляют дождемерами Давитая, расставленными в шахматном порядке.

Помимо общих наблюдений и учетов на орошаемых землях необходимо проводить наблюдения за динамикой уровня грунтовых вод. В период вегетации эти наблюдения проводят один раз в месяц. Ежемесячно делают химический анализ грунтовых вод. Не реже трех раз за поливной сезон (перед первым поливом, в середине лета и перед последним поливом) проводят химический анализ поливной воды, определяют качество водорастворимых солей и их состав.

9. ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ С КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА ОСУШЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕМЛЯХ

Расположение опытов на осушенных землях. При проведении полевых опытов на окультуренных осушенных землях определенного почвенного типа прежде всего необходимо учитывать различную интенсивность осушения почвы на массиве в зависимости от расположения дрен, коллекторов и других элементов осушительных систем. Кроме того, на осушенном участке, после завершения его строительства, создается определенная пестрота почвенного плодородия по трассам насыпки траншей закрытого дренажа и коллекторов и в местах срезов грунта при проведении планировочных работ.

Поэтому перед закладкой опытов на мелиорированных землях проводят тщательное обследование территории опытного участка с учетом истории полей и нанесением на план трасс расположения закрытых дрен, открытых и закрытых коллекторов, колодцев, мест глубокой срезки и насыпки грунта. Затем проводят обследование технического состояния мелиоративных систем с целью выявления работоспособности дренажа, коллекторов и других сооружений. В случае обнаружения неисправностей, производят ремонт, обеспечивая нормальный отвод дренажных вод с осушаемого массива.

Расположение опытных делянок на осушенных землях должно обязательно увязываться с расположением дренажно-коллекторной сети таким образом, чтобы каждая делянка теоретически находилась в одинаковых условиях увлажнения. В опытах с кормовыми культурами, где не предусматривается изучение норм и интенсивности осушения, междреннее расстояние должно быть одинаковым.

Границы делянок должны быть удалены от ближайших коллекторов и истоков дрен не менее чем на величину междренного расстояния. В этом случае вдоль закрытых дрен и коллекторов оставляют неучетные защитные полосы шириной 1–2 м, между которыми располагают опытные делянки. Можно располагать делянки и поперек дрен так, чтобы на каждой делянке дрена проходила в равнозначном месте (например, посередине делянки).

С каждой стороны опытных делянок выделяются защитные полосы шириной не менее 1 м. Размеры учетных делянок на осушенных землях колеблются от 25–50 до 100–200 м² в зависимости от постановки задач и применяемых механизмов, при этом варианты закладываются в четырех-шестикратной повторности. Защитные полосы вдоль границ крупных магистральных каналов должны иметь ширину не менее 20 м, вдоль открытых осушителей — 10–15 м.

Согласно методическим указаниям «Проведение научных исследований на мелиорированных землях избыточно увлажненной части СССР», изданных ВНИИМЗ в 1984 г., при закладке опытов на осушенных участках следует соблюдать следующие условия.

По механическому составу почвы конкретного осушаемого массива при проведении опытов могут отличаться не более чем на одну ступень по классификации Н. А. Качинского. Разница в засоренности почвы камнями и погребенной древесиной на площади не должна превышать 10 %. Мощность гумусового горизонта в опытах должна быть одинаковой (± 2 см). Уклоны опытных участков должны быть равномерными, отличаясь не более чем на 0,002–0,004. Микропонижения и микроповышения более 20 см из опытов исключаются.

Влажность почвы в различных точках (вариантах) опытного участка должна отличаться не более чем на 3–5 % от полной влагоемкости.

Допустимые колебания гумуса в пахотном слое участка — 0,5 %, подвижных форм элементов питания — 5–7 % (относительных), рН должен иметь разницу не более 0,5.

На площадях, планируемых под опыты, в течение трех–четырех предшествующих лет не должно быть различий в агротехнике производственного возделывания культур. Опытные участки располагаются не ближе 40–50 м от построек, водоемов, автотрасс и лесополос (за исключением специальных опытов).

На выбранном опытном участке проводится детальная почвенная съемка в масштабе 1:2000 на топографическом плане с сечением горизонталей 10–20 см. После уравнительного посева осуществляется агротехническое картирование почвы с показателями рН, гидролитической

кислотности, суммы поглощенных оснований, содержания гумуса, P_2O_5 , K_2O , обменного и легкогидролизуемого азота.

На выбранном для опытов массиве в течение одного–двух лет проводят уравнительный посев, дробный учет урожая, который позволит дать более полное представление о выравненности и пестроте плодородия на всей обследуемой площади.

Водно-физические свойства почв. Поскольку основным назначением осушаемых земель является улучшение водного режима почвы, при проведении на них полевых опытов необходимо знать ряд характеристик, необходимых для дальнейших расчетов, оптимизации водо- и воздухообмена почвы и растений, определения водного баланса в системе «воздух–почва–растение».

Помимо механического состава почв, определяемого по методу Н. А. Качинского, и регулярных наблюдений за влажностью почвы на глубине до 1 м, на гидромелиоративных системах в научных целях используют данные объемной массы, плотности (удельного веса), порозности, предельной полевой влагоемкости и водопроницаемости, а в случае необходимости — ряд дополнительных характеристик водно-физических свойств почв (структурно-агрегатный состав, водопрочность структуры, коэффициент фильтрации, влажность завядания, мертвый запас влаги, гигроскопическая влага и др.).

Рекомендуется определение следующих основных показателей водно-физических свойств почвы, применяемых в полевых исследованиях на осушаемых землях.

Объемная масса почвы — вес единицы объема абсолютно сухой почвы в ненарушенном состоянии; выражается в $г/см^3$ (в водобалансовых расчетах на 1 га — в $т/м^3$). Чаще всего объемная масса почвы определяется способом режущих цилиндров.

Металлический цилиндр определенного объема (от 50 до 500 $см^3$) с остро отточенной снаружи кольца кромкой осторожно, не нарушая естественного сложения данного слоя почвы, вдавливают или забивают, накладывая на кольцо дощечку, в почву до полного заполнения цилиндра. Затем цилиндр извлекают ножом с запасом почвы на режущей кромке, аккуратно освобождают от излишков почвы, обрезая ее вровень с кромкой цилиндра. Оставшуюся почву, полностью заполнившую ци-

цилиндр, аккуратно переносят в нумерованный пакет (или коробку) и берут очередной образец почв, повторяя процедуру.

При доставке почвенных образцов в лабораторию их взвешивают с точностью до 0,01 г, тщательно перемешивают и берут две–три пробы в обычные алюминиевые бюксы для определения влажности. Если объем цилиндра был достаточно большим и после взятия проб на влажность осталась почва, ее можно впоследствии использовать для определения плотности.

Чем меньше объем режущего цилиндра, тем больше повторность взятия образца на каждом горизонте. В среднем объемную массу для пахотного горизонта почвы определяют в четырехкратной повторности, нижележащих горизонтов — в трехкратной.

На практике для определения объемной массы почвы часто применяют специальный объемный бур Н. А. Качинского, избегая работы по отрыванию шурфа.

Величину объемной массы (d_o) вычисляют по формуле:

$$d_o = \frac{P \cdot 100}{Y \cdot (100 + W)} \text{ г/см}^3,$$

где P – вес сырой почвы из цилиндра, г;

Y – объем цилиндра, см³;

W – средняя влажность почвы в образце, % от веса абсолютно сухой почвы.

Плотность (удельная масса) почвы — вес единицы объема твердой фазы почвы, или отношение массы твердой фазы почвы к массе воды в том же объеме; выражается в г/см³.

Плотность почвы определяют пикнометрическим способом в соответствии с ГОСТ 5181-64. Согласно методике, воздушно-сухую почву весом около 100 г растирают в ступке и, не допуская остатка, пропускают через сито с отверстиями 1 мм. Две навески по 10 г высыпают в сухие пикнометры, еще две навески берут для определения влажности для пересчета в абсолютно сухую почву.

Пикнометры с почвой наполняют до половины дистиллированной водой и кипятят не менее 30 мин для удаления из смоченной почвы воздуха. После остывания пикнометры доливают до метки хорошо прокипяченной холодной дистиллированной водой и взвешивают с точностью

до 0,01 г. Затем пикнометры моют, заполняют прокипяченной дистиллированной водой до метки и тоже взвешивают.

Плотность почвы (d_y) определяют по формуле:

$$d_y = \frac{P}{P_1 + P - P_2} \text{ г/см}^3,$$

где P – вес навески абсолютно сухой почвы, г;

P_1 – вес пикнометра с водой, г;

P_2 – вес пикнометра с водой и почвой, г.

Если результаты по двум навескам-повторностям образца расходятся более чем на 0,03 г/см³, анализ повторяют.

Плотность почвы в определенной степени дает информацию, характеризующую твердую фазу, представленную различными минералами и органическим веществом. Однако с агрономической точки зрения знание плотности необходимо для расчета скважности (порозности) почв и величины полной влагоемкости.

Скважностью (порозностью) почвы называется суммарный объем почвенных пор в единице объема ненарушенной почвы. Порозность выражается в процентах и вычисляется по формуле:

$$P = \left(1 - \frac{d_o}{d_y}\right) \cdot 100\%,$$

где d_o – объемная масса почвы, г/см³;

d_y – плотность почвы, г/см³.

Теоретически порозность почвы принимается равной величине полной влагоемкости почвы, т. е. процентному показателю объема воды, которую может вместить в себя данная почва при заполнении всех почвенных пор.

Фактически эта величина несколько не совпадает с расчетной, так как при заполнении почвенных пор и капилляров водой часть воздуха (до 5 % объема почвы) вытеснить не удастся. Для не специальных расчетов этим несоответствием можно пренебречь.

Разницу между полной влагоемкостью и предельной полевой (наименьшая влагоемкость) составляет гравитационная вода, которая характеризует водоотдачу почвы в процессе естественного и искусственного (осушения) дренирования. Гравитационная вода является из-

быточной для нормального произрастания полевых культур, так как резко ухудшает аэрацию корневой системы.

Предельной полевой влагоемкостью (ППВ) называется максимальное количество воды, которое может удержать в себе почвенная толща в малоподвижном состоянии после стекания гравитационной влаги при отсутствии подпора от грунтовых вод и испарения с поверхности.

ППВ в водном режиме сельскохозяйственных культур принимается за верхний порог оптимального увлажнения.

Для определения ППВ на опытном участке в нескольких местах подготавливают площадки размерами $1,0 \times 1,0$ м, которые окаймляют с наружной стороны земляными валиками высотой около 30 см. Рядом через 20–30 см насыпают второй ряд таких же валиков. Площадку медленно заливают водой из расчета доведения запасов влаги до полной влагоемкости (для насыщения площадки на глубину 1 м даже при очень сухой почве достаточно $1,5 \text{ м}^3$ воды). Примерно столько же воды выливают между валиками, чтобы исключить боковой отток воды из самой площадки. После впитывания влаги в почву площадку закрывают пленкой и соломой, исключая поверхностное испарение, и выдерживают на песчаных почвах одни сутки, на суглинистых — двое–трое, глинистых — трое–четыре суток. По окончании этих сроков два дня подряд буром, послойно до глубины 1 м в трехкратной повторности, определяют влажность почвы, каждый раз укрывая площадку от испарения. Если влажность продолжает снижаться, ее иногда определяют и на третий или четвертый день до полного стекания гравитационной воды. Установившуюся, удерживаемую почвой влагу принимают равной величине ППВ.

От величины предельной полевой влагоемкости устанавливают нижние пороги оптимального увлажнения. Например, для корнеплодов и кукурузы на средних по механическому составу почвах нижний порог оптимального увлажнения слоя почвы 0–60 см в период интенсивного роста принимается равным 80 % от ППВ, для большинства многолетних трав этот порог составляет 70 % ППВ. Если опыты с кормовыми культурами заложены на мелиорированных полях с двусторонним регулированием водного режима, падение влажности за черту нижнего порога

оптимального увлажнения расчетного слоя почвы предотвращается орошением.

Одновременно с затоплением площадки для определения ППВ можно определить **водопроницаемость почвы**. Единственное условие для этого определения — строгий учет количества выливаемой на площадку воды и поддержание постоянного слоя воды с помощью линейки на уровне 5 см.

Водопроницаемостью называется способность почвы впитывать и пропускать через себя воду, поступающую с поверхности. Водопроницаемость подразделяется на две фазы: первая — впитывание или насыщение почвы влагой; вторая — фильтрация или продвижение влаги в нижние горизонты, в том числе в дренаж.

Впитывание — процесс сравнительно быстрый, вода подливается часто, первые учеты проводят каждые 2–3 минуты, затем через 5–10–30 и даже 60 мин. Одновременно определяют температуру подаваемой воды. Примерный срок наблюдений составляет на песчаных и супесчаных почвах 2–3 часа, на суглинистых — 4–6, на глинистых — 8–10 часов.

Вместо площадки с земляными валиками для определения водопроницаемости удобно пользоваться квадратными рамами из листового железа высотой 20–25 см. Сторона квадрата внутренней рамы — 25 см, внешней — 50 см. Рамы врезают в почву на 6–10 см, почва снаружи и внутри стенок утрамбовывается. Дальнейшая работа по поддержанию слоя воды 5 см аналогична земляной площадке, но расход воды в этом случае значительно меньший.

Высота столба воды, которая поступает сверху вниз по профилю почвы за единицу времени, указывает на скорость впитывания и фильтрации, которую для каждого интервала времени вычисляют по формуле:

$$K_t = \frac{Q \cdot 10}{S \cdot t}$$

где K_t — водопроницаемость при данной температуре, мм/мин;

Q — количество просочившейся воды, см³;

S — площадь внутреннего квадрата, см²;

t — время впитывания, мин.

Водопроницаемость почвы, как и предельная полевая влагоемкость, определяется в период, когда уровень грунтовых вод на осушенных землях находится ниже глубины закладки дрен. На заливаемой

площадке не должно быть растений. Во избежание размыва почвы при подаче на площадку воды под струю кладут пучок соломы или травы.

Особенности определения влажности почвы на осушенных землях. Влажность почвы обычно определяется в строго обозначенных точках междренья до глубины залегания дрен (1 м) с периодичностью в 10–15 дней (или по основным фазам развития растений). Данные влажности почвы отражают условия водного режима растений, а для разных культур позволяют следить за их водопотреблением, выявляя их гидро-мелиоративное воздействие на почву.

На опытных участках, где осушительная сеть представлена различными междренными расстояниями, изучается влажность почвы около дрены и в центре междренья, чтобы определить норму осушения на различном расстоянии от осушителей и выявить реакцию кормовых культур на разную степень увлажнения.

В отдельных опытах с кормовыми культурами на осушенных землях необходимо определять структурно-агрегатный состав почвы до глубины залегания дрен. Например, большой интерес представляет изучение влияния на дренирующую способность почв таких культур, как рапс и сурепица, мощная корневая система которых оказывает определенное мелиоративное воздействие на осушаемую толщу почвы. То есть различные кормовые культуры в зависимости от изучаемых вопросов требуют определения соответствующих показателей, методики которых описаны в специальных пособиях (табл. 12).

Современное проведение исследований с кормовыми культурами на осушенных землях должно базироваться на агроландшафтном подходе к системам земледелия. Поэтому при выборе опытных участков, их освоении и эксплуатации обязательно должна присутствовать агроландшафтная направленность, предусматривающая повышение плодородия почв, продуктивности и экологической безопасности в увязке с закономерностями функционирования природных систем. Все полученные результаты исследований должны обязательно увязываться с почвенными, геоморфологическими, гидрологическими особенностями агроландшафтов.

Осушение надо рассматривать не только приемом отвода избытка воды с полей, а как средство управления водным режимом взаимосвязанных экосистем на бассейновом уровне.

12. Наблюдения при проведении опытов на осушенных землях

Виды наблюдений	Метод определения, прибор	Методическое руководство
Атмосферные осадки	Осадкомер, пловвиограф	Бишев Э. А. и др. Гидрометеорологические наблюдения на осушительных системах. М., 1972
Высота снежного покрова, плотность снега	Снегомерная рейка, весовой плотномер	
Промерзание и оттаивание почвы	Мерзлотомер	
Уровень грунтовых вод	Смотровые скважины	
Поверхностный сток и смыв почвы	Стоковые площади	Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии. Л. : Гидрометеоиздат, 1975
Дренажный сток, объем и химический состав	Смотровые колодцы	Проведение научных исследований на мелиорированных землях избыточно увлажненной части СССР (методические указания). М., 1984
Влажность устойчивого завядания	По проросткам	Доспехов Б. А. и др. Практикум по земледелию. М. : Агропромиздат, 1986
Максимальная гигроскопичность почвы	По Николаеву	
Макроагрегатный состав почвы	По Савинову	
Водопрочная структура	По Бакшееву	
Механический состав почвы	По Качинскому в модификации Логова	Практикум по почвоведению. М. : Агропромиздат, 1986
Микроагрегатный состав почвы	По Качинскому	
Транспирация воды	По Абрамовой	Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге, т. 2. Л. : Гидрометеоиздат, 1969
Испарение с водной поверхности и почвы	Методы водного баланса и испарителей	Проведение научных исследований на мелиорированных землях избыточно увлажненной части СССР (методические указания). М., 1984

10. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Торфяно-болотные почвы по характеру использования делятся на три группы:

- болотные системы, которые необходимо сохранить в естественном состоянии для устойчивого функционирования ландшафтных экосистем;
- торфяные массивы, используемые в сельском хозяйстве;
- торфяные массивы, на которых добывают сырье для топлива, удобрений и другие цели.

Научные исследования по их эффективному использованию в кормопроизводстве проводятся на ненарушенных и выработанных торфяных почвах. В сельском хозяйстве используются преимущественно низинные торфяные почвы с высоким потенциальным плодородием.

Методические основы проведения исследований на торфяно-болотных почвах были разработаны в 50–70-ые годы прошлого столетия (СевНИИГиМ, Росгипроводхоз, Геолторфоразведка МСХ РСФСР и др.), а в последние десятилетия — ВНИИОУ (г. Владимир), ВНИИМЗ (г. Тверь), Почвенным институтом им. В. А. Докучаева, С.-Петербургским ГАУ и др.

В ряду гидроморфных разновидностей торфяные и выработанные почвы занимают особое место. Главная их особенность — крайне близкое расположение к корнеобитаемому слою почвенно-грунтовых вод, которые на всех этапах освоения и сельскохозяйственного использования этих объектов принимают активное участие во всех без исключения почвообразовательных процессах.

Для повышения результативности исследовательского процесса необходимо учитывать зональные особенности изучаемых объектов.

Определение классификационной принадлежности торфяных и выработанных почв. Если с болотными почвами особых проблем при их определении не возникает, поскольку они по-прежнему вписываются в последнюю версию классификации (1997, 2004), разработанную Почвенным институтом им. В. В. Докучаева, то с выработанными

почвами все значительно сложнее из-за стремительно меняющегося морфологического и стратиграфического их облика.

На выработанных торфяниках, где удается по ботаническому составу оставшегося торфа установить генезис торфяной залежи, за основу берется величина остаточного слоя торфа, не перемешанного с подстилающей минеральной породой. Добавляется лишь уточняющий термин «остаточная» или «выработанная». Например, при $A_t = 0-30$ см почвы называются торфянисто-глеевыми остаточными; при $A_t = 30-50$ см — торфяно-глеевыми остаточными; при $A_t = 50-100$ см — торфяными маломощными остаточными и т. д. В официальной трактовке почвенной классификации (2004 г.) по типу эти почвы относятся либо к торфоземам агроминеральным, либо к агроземам торфяно-минеральным; четкого, принципиального различия между этими понятиями не просматривается. Также отсутствует подразделение этих образований на более низкие таксономические единицы: подтип, род, вид, разновидность и т. д.

В процессе антропогенной эволюции осушенной торфяной залежи наступает так называемая «климаксная» стадия, когда не представляется возможным установить ботанический состав даже нижней ее части, т. е. торфяное месторождение как природное тело исчезает практически полностью. В этом случае предлагается использовать классификационные подходы белорусских ученых (Н. И. Смян, 1990; С. М. Зайко, 2000 и др.), где за основу взято содержание органического вещества (ОВ). По типу вновь образовавшийся профиль называется дегроторфоземом остаточно-оглееным. По видам подразделение следующее: при содержании $ОВ = 50-20$ % почвы называются торфяно-минеральными; при $ОВ = 20-5$ % — минеральными остаточно-торфяными; при $ОВ < 5$ % — минеральными постторфяными.

Выбор участка. При выборе участка всегда необходимо учитывать главную особенность объектов — их гидроморфизм. Поэтому обследование участка всегда начинают с изучения уровня залегания грунтовых вод. Он должен строго соответствовать требованиям изучаемых кормовых культур. Кроме того, производится зондировка мощности торфа, при необходимости устанавливаются гипсометрические отметки поверхности торфяной залежи, изучается типичность подстилающей

породы и самого торфа (послойно, по всей глубине залежи с привязкой к ботаническому составу).

Одна из особенностей выработанных фрезерным способом территорий — огромная вертикальная и горизонтальная почвенная пестрота, обусловленная холмистым рельефом болотного дна. На сравнительно небольшом участке слой торфа может варьировать от 0 до 1,5 м. Поэтому даже с учетом имеющихся схем результатов зондировки выбрать типичный участок очень сложно. В целях снижения погрешности и случайных ошибок необходимо увеличивать количество повторностей и нестандартно размещать в пространстве делянки вариантов.

Водно-физические, агрохимические, морфологические, теплофизические и другие свойства выбираемого участка не должны существенно отличаться от общей характеристики торфомассива, на котором этот участок находится.

Расположение опытного участка. При размещении опытного участка в пространстве необходимо учитывать наличие открытой или закрытой осушительной сети и лесных полос, расположенных обычно на одной из сторон картового или магистрального каналов. Опытный участок не должен находиться ближе расстояния равного двум–трем высотам древостоя. В том случае, если это условие не удастся обеспечить, предполагаемое влияние лесной культуры должно быть одинаковым по всем элементам опыта.

По отношению к открытым осушительным каналам опыт размещается с учетом одинакового их действия на водный режим всех делянок. Расстояние от каналов должно быть не ближе 15–20 м. Совершенно недопустимо расположение опытного участка в зоне пересечения двух каналов или двух лесных полос. Если рельеф территории и разброс запасов торфа на ней не имеет больших отклонений, то все повторности лучше размещать вдоль канала в один ярус. В случае большого уклона канала (больше 0,2) и невозможности учесть единообразие остальных условий опыт размещается по отношению к каналу в несколько (4–6) ярусов.

Категорически нельзя размещать в несколько ярусов повторности опыта, где изучается система удобрений, поскольку движущиеся к каналу почвенно-грунтовые воды в первый же год закладки опыта приве-

дут к смешиванию почвенных растворов профиля и наложению нескольких взаимоисключаемых удобрительных фонов. Исправить ситуацию здесь не позволяют даже большие размеры защитных (буферных) полос.

Конфигурация делянок обычная, прямоугольная, лучшее соотношение сторон 1 : 3, расположение к каналам и лесополосам перпендикулярное. Однако в условиях выработанных торфяников очень часто почвенная пестрота участка не позволяет всем делянкам полевого опыта придать форму правильного прямоугольника. В этом случае форма делянок может быть в виде двух или нескольких совмещенных, сдвинутых, имеющих общую сторону прямоугольников или квадратов. Общая площадь нестандартной делянки остается при этом без изменений. При такой форме делянок усложняется техника учета урожая, однако в большей степени соблюдается принцип единственного различия, увеличивается точность и достоверность опыта.

Техника лабораторных работ и полевых наблюдений. Методы наблюдений за свойствами (агрохимическими, физико-химическими, физическими и водно-физическими) торфяных почв, в особенности выработанных, существенным образом отличаются от методов, используемых на минеральных почвах. До настоящего времени не существует совершенных агрохимических методов аналитики высокозольных органических почв, к которым относятся и выработанные торфяники. Такой важный для результата анализа элемент, как соотношение разведения навески в рабочем растворе, не принимается во внимание при исследовании разнозольных почв. Большинство аналитиков поступают следующим образом: если зольность торфяной почвы не превышает 50 %, ее относят к торфяной, если больше, то применяют методы для минеральных почв. На Кировской лугоболотной опытной станции проводились лабораторные модельные опыты, которые позволили установить соотношение твердой и жидкой фракции в рабочем растворе почв зольности от 5 до 90 %. Предлагаются следующие положения при определении подвижных форм фосфора и калия (по А. Т. Кирсанову): а) при анализе торфяных почв с зольностью до 50 % применять разведение почва : раствор — 1 : 50; б) при анализе почв выработанных торфяников с зольностью от 50,1 до 80,0 % проводить его, применяя разведение поч-

ва : раствор — 1 : 10; в) образцы с зольностью более 80 % анализировать как минеральные (разведение 1 : 5).

Непосредственная близость грунтовых вод торфяных и выработанных почв к корнеобитаемому слою вносит некоторые уточнения в систему наблюдений за водным и тепловым режимами. Так, точность получаемых результатов при определении средневегетационного уровня грунтовых вод (УГВ) в значительной степени зависит от агрометеорологических условий конкретного года. В периоды выпадения обильных атмосферных осадков УГВ существенно снижается при частоте замеров реже одного раза в 10 дней. Для повышения объективности получаемых результатов замер УГВ не следует проводить в день выпадения осадков, это делают через 3–8 дней в зависимости от количества выпавших осадков.

В условиях засушливого и умеренного по осадкам вегетационного периода, даже при частоте замеров раз в два месяца, получаемые результаты практически не отличаются от результатов, полученных при ежедневном замере (отклонения от контроля составили соответственно 2,2 и 0,2 %), что свидетельствует о достаточной точности.

При определении влажности торфяных почв большое значение имеет конструкция бура. В принципе можно использовать различные модели: Измаильского в модификации Н. А. Качинского, Некрасова, Гиллера, Осипова и др. Главное, чтобы не деформировался извлекаемый микромонолит и в рабочем стакане не создавался вакуум при его извлечении. Для этого ручка и штатив бура должны быть пустотелыми. Система отбора проб может быть общепринятой (по диагонали, конвертом и т. д.), однако из-за высокой пестроты объекта смешанный образец не всегда позволяет объективно оценить свойства почвы. Поэтому при изучении динамических процессов в почве более точный результат дает фиксированное постоянное место отбора образца. В этом случае во избежание эффекта микродренажа применяются микробуры.

В отличие от минеральных и торфяных почв на выработанных торфяниках любые почвенные исследования должны быть непременно привязаны к генетическим горизонтам. При отборе проб недопустимо смешивание разных геологических пород (торф, подстилаящая порода) даже в угоду соблюдения глубины отбора. Для того чтобы избежать этих противоречий, на делянке выбирается такое место, где глубина от-

бора совпадает с глубиной смены разных горизонтов. В практике это условие трудновыполнимо, однако для чистоты эксперимента крайне важно.

При определении физических и водно-физических свойств торфяных почв также имеются свои особенности. Из большого количества показателей для этих почв самые главные: объемная и удельная массы, наименьшая (НВ) и полная влагоемкость (ПВ). Для специальных водобалансовых наблюдений определяется влажность завядания (ВЗ).

При определении объемной массы не допускается ударный способ, применяемый на минеральных почвах. Лучшим в настоящее время является метод Ф. Р. Зайдельмана (1964). Для отбора образца с любой глубины применяется бур со съемным стаканом емкостью 300 см³. Режущий край стакана оформлен в виде продольной пилы. Вынутый образец остается в естественном состоянии и не деформируется, что особенно важно при определении этого показателя. Установлено, что в отличие от минеральных почв объемная масса торфяников непостоянна даже в течение сезона. По данным наших исследований, значение этой величины увеличивается на 15–20 % при изменении влажности почвы от НВ до ВЗ. Таким образом, при специальных и систематических исследованиях необходимо определять объемную массу при различном состоянии влажности и правильно впоследствии ее использовать. Например, при определении запасов влаги или элементов питания.

При определении удельной массы обычно используют пикнометрический метод в модификации Ф. Р. Зайдельмана. От общепринятого он отличается тем, что используется не сухая навеска, а предварительно насыщенная водой. В пикнометр навеска помещается уже в виде суспензии. Однако в этом случае на всю процедуру анализа уходит 6–8 дней.

При определении этого показателя вместо насыщения и последующего кипячения можно использовать вакуумную камеру (0,5–1 атм). Это позволяет в несколько раз сократить время и, главное, обеспечить высокую достоверность и сходимость результатов.

При определении полной влагоемкости (ПВ) торфяной почвы многие исследователи используют метод насыщения. Главный его недостаток — большая продолжительность и недостаточно высокая точ-

ность. Установлено, что даже при 20–30-дневном насыщении в почве остается до 5–10 % заземленного воздуха. В этом случае так же целесообразно использовать метод вакуума. Время полного (условно) насыщения сокращается в 10 раз. Однако для торфяных почв все же лучше определять полную влагоемкость расчетным способом, используя объемную и удельную массы. С высокой точностью здесь также определяют и порозность.

Наименьшую влагоемкость (НВ) торфяных почв, по мнению И. Н. Скрынниковой и Ф. Р. Зайдельмана, лучше определять способом, предложенным С. М. Долговым (1948) для минеральных почв.

Однако здесь, как и при определении объемной массы, на конечный результат оказывает влияние исходная влажность образца. Поэтому, изучая образцы почв, отобранные в наиболее засушливые и влажные периоды, можно установить весь интервал НВ, свойственный определенному слою. Условно этот интервал И. Н. Скрынникова разделяла на две части — НВ сухого и мокрого периодов.

Для определения влажности завядания торфяных почв используют обычно метод проростков или вегетационных миниатюр (Астапов, Долгов, 1952). В дополнение к этим указаниям необходимо отметить специфические особенности гидроморфных почв. По Зайдельману (1964), при постановке вегетационных опытов на верховых, переходных и некоторых низинных торфяных почвах корни проростков могут поражаться плесенью и выпревать. То же самое может произойти и с почвой, взятой на целинных выработках. Поэтому для устранения этого явления производится полив сосудов питательной смесью Кнопа или Прянишникова.

Техника закладки опытов, наблюдения и учета урожая принципиальных отличий по сравнению с минеральными почвами не имеют.

Для оценки сельскохозяйственных технологий не только по продуктивности, но и изменению потенциального плодородия почвы проводят оценку состояния микробиоты почвы и ее гумусного состояния.

В качестве диагностических свойств выработанных торфяников на первых этапах их освоения целесообразно использовать характеристики качественного и количественного состава микроорганизмов, их биомассу, активность почвенных ферментов класса оксиредуктаз: ката-

лазы, пероксидазы, полифенолоксидазы (Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов, 1966; Методы почвенной микробиологии и биохимии, 1991).

Анализ фракционно-группового состава органического вещества торфяных почв и выработанных торфяников проводят по методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой (1961).

Для характеристики гумусного состояния торфяных почв используют набор показателей и методы расчета, предложенные Т. Т. Ефремовой (1983).

При оценке температурного режима приземного слоя воздуха и почвенного профиля выработанных торфяников нельзя ограничиваться средним (типичным) участком. Замеры нужно производить синхронно на нескольких почвенных профилях с разной глубиной залегания грунтовых вод и степенью сработки торфа. Наблюдения, проводимые в таком режиме в летний период, позволяют создать электронные карты заморозкоопасности и размещения кормовых культур по территории с учетом их требований к температурному режиму. Под приземным слоем воздуха понимается слой высотой 2 м над почвой, рассчитанный на высокорослые кормовые культуры. Поэтому замеры минимальных, максимальных и срочных температур производятся на поверхности и высотах 2, 50, 100, 200 см. Круглогодичные наблюдения дают полную картину перестройки температурных градиентов с положительного на отрицательный и, наоборот, по всему почвенному профилю в зависимости от нормы осушения и слоя остаточного торфа.

На органогенных почвах большое значение имеет режим промерзания и оттаивания. От этих параметров непосредственно зависит начало весенне-полевых работ. Для этой цели в агрометеорологической службе используют мерзлотомер А. И. Данилина. Однако в мерную (резиновую, пластиковую) трубку такого мерзлотомера наливают дистиллированную воду, а жидкая фаза почвы, как правило, замерзает при более низкой температуре, а не при 0 °С. Чтобы устранить это несоответствие в мерную трубку лучше заливать выжимки почвенного раствора, либо предварительно отфильтрованные грунтовые воды, отобранные непосредственно с изучаемого участка.

Наблюдения за промерзанием почвы выработанных торфяников осуществляются с использованием мерзлотного бура и специально сконструированного устройства (Уланов Н. А., 2015). Устройство представляет собой мерную рейку с металлическим шипом в основании, расположенным перпендикулярно к измерительной шкале рейки и выступающим примерно на 1,5–2,0 см (рис. 16).

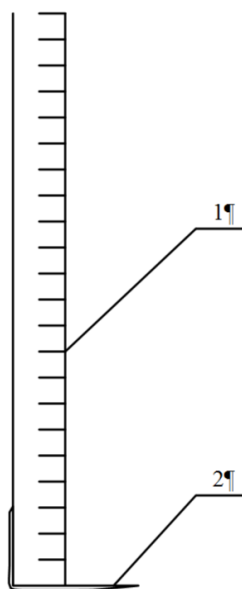


Рис. 16. Устройство для определения глубины промерзания.

1 — мерная рейка с измерительной шкалой; 2 — металлический шип

Процесс измерения происходит следующим образом. С помощью мерзлотного бура пробивается слой промерзшего грунта. Глубина пробуренной скважины должна быть примерно на 5 см больше промерзшего грунта. Затем на дно скважины опускается описанное выше устройство, после чего измерительную рейку необходимо плотно прижать к стенке скважины, так чтобы металлический шип воткнулся в слой непромерзшего грунта. После установки устройства в скважине описанным выше способом, его медленно вытягивают на поверхность. Поскольку в нижней части скважины промерзание отсутствует, то на протяжении нескольких сантиметров устройство будет подаваться вверх без особых усилий, так как металлический шип будет раздвигать структурные отдельности непромерзшей почвы. Это будет происходить до тех пор, пока металлический шип не упрется в слой промерзшей почвы,

фиксируя таким образом **максимальную глубину промерзания**, или нижнюю границу промерзшего слоя. После этого дальнейшее извлечение устройства резко затрудняется, поэтому переход металлического шипа из непромерзшего грунта в промерзший легко определить (рис. 17). Числовое значение на измерительной шкале в этот момент соответствует глубине промерзания почвы. Подобное действие необходимо повторить на стенках скважины и в трех других направлениях, т. е. всего четыре измерения с шагом в 90°. Из полученных в результате измерения значений выводится средняя величина промерзания. Таких замеров одновременно на разноосушенных и разносработанных участках производится до 5–10 повторений. Оттаивание удобнее всего отслеживать с помощью обычного щупа.

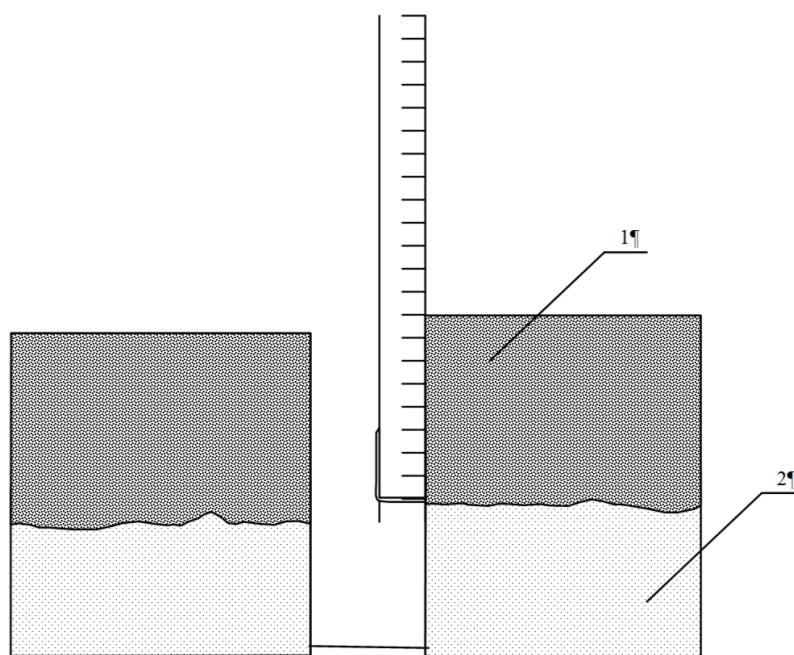


Рис. 17. Измерение глубины промерзания.

1 – промерзший слой грунта; 2 – непромерзший слой грунта

Водно-минеральный режим является одним из главных классификационных основ болот и торфяных почв. По содержанию в грунтовых водах зольных элементов можно с высокой степенью вероятности судить о динамике миграции по профилю и величине потерь этих элементов из почвенного раствора и почвенно-поглощающего комплекса (ППК) в целом. Поэтому сведения о гидрохимическом режиме грунто-

вых вод могут служить достоверными и весьма оперативными параметрами общего контроля за оптимальностью использования осушенной торфяной залежи. В методической литературе специально разработанных способов отбора грунтовых вод практически нет. Для рекогносцировочного (одноразового) исследования образец воды можно отобрать из смотровой скважины уровня грунтовых вод. Для изучения динамики изменения гидрохимии вод отбор образцов производится круглогодично один раз в месяц. В этом случае скважины оборудуют обсадными трубами с сеткой внизу. Однако необходимо отметить, что структура материалов, из которых они изготовлены, в болотной среде при pH = 4,5–5,5 может искажать показатели ионного состава. Так, в контрольном колодце с железной трубой может быть обнаружено более высокое содержание общего Fe, в скважине, оборудованной асбестово-цементной трубой — Ca^{2+} и Mg^{2+} , в трубах из сплава с алюминием — Al^{3+} . Кроме того, установлено, что обсадная труба, даже если она изготовлена из устойчивого к агрессивной среде болотных вод материала (пластик, легированная сталь), создает дополнительный застойный режим, искажающий химический состав жидкой фазы.

Во всех случаях результаты анализов в колодцах без каких-либо обсадных труб после предварительной откачки вод практически одинаковы с результатами анализов проб из свежееоткопанных скважин. Таким образом, если нет возможности при длительных наблюдениях ежемесячно откапывать новую скважину, можно пользоваться постоянными, не имеющими обсадных труб. При этом перед отбором проб за 5–6 часов из скважины откачивается вода и удаляется осадок (А. Н. Уланов, 2005).

Общеизвестно, что торфяные и, особенно, выработанные почвы являются крайне уязвимыми природными объектами. Даже после частичного сброса болотных вод торфяная залежь, используемая в производстве в условиях щадящего режима и оптимальной нормы осушения, в результате биохимического окисления торфа полностью разрушается. Чтобы контролировать и прогнозировать темпы разрушения органического вещества (ОВ) торфа с целью обоснования и регулирования этого процесса необходимы специальные комплексные долговременные наблюдения.

Прежде всего проводятся балансовые наблюдения, где особенно тщательно отслеживается расходная часть ОВ: потери в результате ветровой и водной эрозии, вынос с урожаем, с почвообрабатывающими орудиями и колесами, с нисходящим внутрипочвенным стоком почвенно-грунтовых вод. Определяются коэффициенты гумификации и минерализации. При изучении дыхания почвы и ее газообмена устанавливаются потери углерода с содержащими этот элемент газами (CO_2 , CH_4 и т. д.). Дополнительно изучается трансформация главной части ОВ торфа — гумуса. Отслеживается фракционная перестройка всех растворимых азото- и углеродосодержащих элементов гумуса. В разное время Н. Н. Бамбаловым (1988), И. И. Лиштваном (1983), В. Н. Ефимовым и В. П. Царенко (1986–1990), Т. Т. Ефремовой (1983), Б. Н. Макаровым (1988) и многими другими были разработаны и усовершенствованы соответствующие методы. Следует отметить, что большинство из этих методов дают результаты, полученные расчетно-эмпирическим путем.

Полевой метод физического изменения размеров торфяной залежи. Это метод зондировки торфяного слоя и метод топографической привязки уровня фиксированных точек делянки относительно постоянного репера. На опытном участке согласно схеме (рис. 18) намечаются и с точностью 1–2 см привязываются контрольные точки.

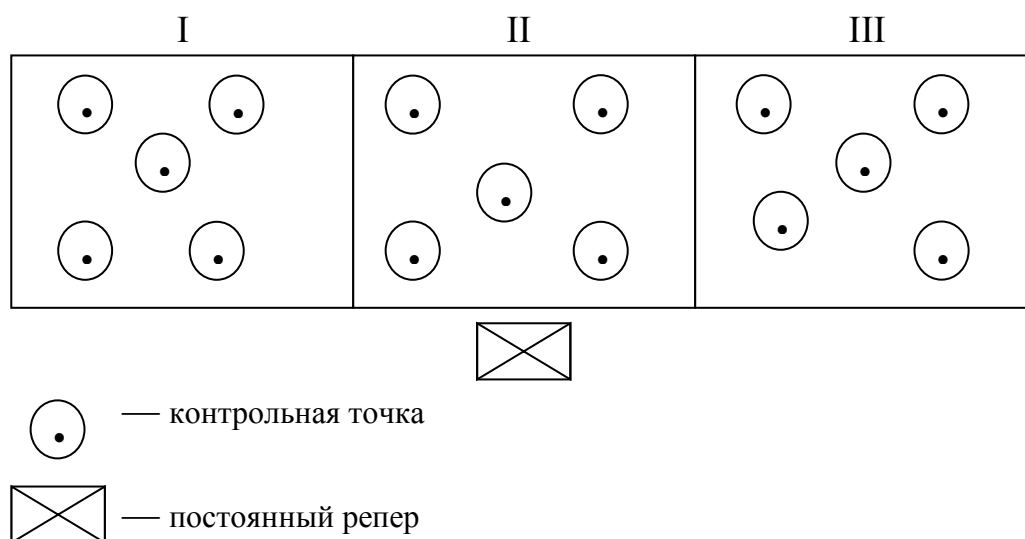


Рис. 18. Схема размещения контрольных участков, фиксированных точек и репера

С периодичностью один раз в пять лет на отмеченных точках измеряется глубина торфяного слоя. На участках до 0,5 м это можно делать с помощью щупа, на более оторфованных элементах делянки используется специальный глубинный бур. Одновременно с помощью нивелира в этих точках производится замер уровня поверхности. На поверхности почвы предварительно размещается тонкая (деревянная или пластиковая) площадка (30 × 30), на которую при замерах помещается нивелирная рейка. Изменение высоты поверхности рассчитывается по отношению к постоянному реперу. Репер — это металлический шток высотой 0,5–1,0 м с приваренной сверху металлической площадкой (20 × 20). Репер полностью забивается в непосредственной близости от опыта в минеральный грунт (А. Н. Уланов, А. В. Смирнова, 2010).

11. МЕТОДИКА ОПЫТОВ С КОРМОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ

11.1. Многолетние травы

В полевом травосеянии основной задачей научных исследований является обоснование критериев оценки внутривидовых и межвидовых взаимоотношений растений различных морфобиологических типов в агрофитоценозах, их реакции на агротехнические приемы и погодные условия; агротехнических, ценотических и биологических параметров конструирования и управления простыми и сложными агрофитоценозами многолетних трав различного целевого назначения для полевых (занятые пары, основные посевы, включая выводные поля) и кормовых севооборотов с признаками компенсационного эффекта, обеспечивающие конвейерное поступление растительного сырья и функционирующих на основе биологического азота (табл. 13).

13. Основные требования к конструированию агрофитоценозов многолетних трав

Севооборот	Место в севообороте	Основные требования к конструированию
Полевой	Паровое поле	длительность пользования не более 1 года
		раннеспелость
		интенсивное накопление биологического азота и корневых остатков
		рациональное использование почвенной влаги
	Травопольное звено	длительность пользования не более 2–3 лет, в выводном поле не менее 3 лет
		формирование травостоев различной спелости (ранне-, средне- и позднеспелые) для организации сырьевого конвейера
Кормовой	Травопольное звено	доминирование бобовых видов
		содержание в сухом веществе ОЭ не менее 10–10,5 МДж/кг, сырого протеина — 15–16 %
		длительность пользования не менее трех лет
		доминирование бобовых видов
		эффективное использование растительного сырья на зеленый корм
Почвозащитный	Травопольное звено	устойчивость травостоев к вытаптыванию при использовании в пастбищном режиме
		высокое качество растительного сырья
		длительность пользования — 5–6 лет и более
		активные почвозащитные функции
		засухоустойчивость

Основные факторы, определяющие параметры конструирования:

– вид и сорт культуры, биологические и морфологические особенности, определяющие их фитоценотическую активность (нейтральная, положительная, отрицательная), длительность хозяйственного использования, качество корма;

– количество видов в агрофитоценозах, нормы высева и соотношение компонентов, способ посева;

– режимы использования травостоев, система удобрения и защиты посевов от вредных организмов.

Применительно к кормовым севооборотам необходимо разрабатывать агрофитоценозы, функционирующие на основе биологического азота. Особенно актуальной является эта задача в лесной зоне, где в настоящее время применяются травосмеси с клевером луговым, требующие применения азотных удобрений после второго года пользования. Создание новых сортов люцерны применительно к данной зоне позволяет положительно решить эту задачу. По данным ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», для кормовых севооборотов целесообразны агрофитоценозы на основе двух бобовых (клевер, люцерна) и одного злакового компонента. Продуктивность таких посевов зависит от конкурентных взаимоотношений компонентов, а питательная ценность — от совпадения хозяйственно ценных фаз развития.

Важной задачей интенсификации полевого травосеяния является научное обоснование сырьевых конвейеров на основе бобовых трав, различающихся по скороспелости, что позволяет получать качественные корма без затрат азотных удобрений. Решение проблемы возможно на основе видового и сортового разнообразия бобовых и злаковых многолетних трав.

В лесной зоне из бобовых многолетних трав в состав зеленого конвейера целесообразно включать ультрараннеспелые и раннеспелые сорта клевера лугового, люцерну. В степной зоне основу конвейера составляют разные по скороспелости сорта люцерны и эспарцета. На орошаемых землях наряду с люцерной и эспарцетом следует выращивать ультрараннеспелые и раннеспелые сорта клевера. Аналогичный набор видов многолетних бобовых трав целесообразно включать в состав зеленого и сырьевого конвейеров в предгорной и горной зонах Северного

Кавказа. На засоленных землях в состав конвейеров помимо люцерны включают сорта белого и желтого донника.

При разработке технологий возделывания и использования многолетних трав важнейшей задачей научных исследований является создание условий для их нормального роста и развития в первый и последующие годы жизни.

Основными факторами, определяющими рост и развитие растений, являются почва, сроки и способы посева (покровный, беспокровный), нормы посева семян в одновидовых и смешанных посевах, минеральное питание, влажность почвы, режимы использования (сроки и количество укосов).

Для установления действия отдельных агротехнических приемов или их совокупности на урожайность и качество корма многолетних трав необходимо проводить сопутствующие наблюдения, анализы и учеты, от точного выполнения которых зависит правильное объяснение причинности тех или иных изменений.

Фенологические наблюдения. Фенологические наблюдения позволяют установить влияние складывающихся погодных условий и изучаемых агротехнических приемов на особенности роста и развития видов и сортов многолетних трав, продолжительность их вегетационного периода. Фенологические наблюдения за многолетними травами начинают после посева, дату которого фиксируют в полевом журнале. При необходимости отмечают набухание семян и начало их прорастания — появление корней и зародыша стебля. За начало всходов принимают появление семядольных листочков у бобовых и шилец у злаковых трав на поверхности почвы (рядки четко не просматриваются). Полные всходы отмечают при ясном обозначении рядков, появлении настоящих листьев у бобовых трав. В последующем начало очередной фазы развития считают наступление ее у 10 % растений, а полную фазу отмечают при наступлении ее у 75 % растений на делянках двух несмежных повторностей опыта.

Существуют два метода наблюдений за фазами развития растений: глазомерный и непосредственный подсчет растений, вступивших в данную фазу. Метод подсчета заключается в том, что на выделенных площадках в трех местах делянки на двух несмежных повторностях от-

считывают 10–20 растений, определяют, сколько из них вступило в данную фазу, и вычисляют процент от общего числа взятых растений. Регистрацию наступления фаз следует проводить одному лицу, в пределах одного опыта. Перед наступлением фазы посева должны осматриваться ежедневно. Начало кущения злаковых трав отмечают при появлении из влагалищ листьев верхушек первых свернутых в трубочку боковых побегов (обычно при образовании двух–трех настоящих листьев). За фазу выхода в трубку принимают период от образования стеблей до появления соцветий (прощупывается первый стеблевой узел на расстоянии 0,5–1 см от поверхности почвы). Начало колошения или выметывания отмечают при появлении соцветий из влагалищ листьев. Полный выход соцветий принимают за полное выколашивание.

У бобовых трав в год посева отмечают начало формирования боковых побегов, начало стеблевания (когда длина междоузлий достигнет 1 см), фазу бутонизации (при появлении развитых бутонов), начало цветения (при наличии распустившихся цветков у 10 % растений).

За дату прекращения вегетации условно принимают последний из пяти дней, суточная температура каждого из которых была не выше 0 °С (по данным метеорологической станции). В южных районах страны после периода пониженных температур часто устанавливается теплая погода и возобновляется вегетация растений. В этих случаях делают соответствующие записи в полевом журнале. Возобновление вегетации весной и начало отрастания многолетних трав после укоса отмечают при появлении новых листьев.

В год закладки опытов проводят фенологические наблюдения за покровными культурами (см. «Однолетние травы, зернофуражные и зернобобовые культуры»). Фенологические наблюдения за покровными культурами позволяют установить их вегетационный период, продолжительность которого существенно влияет на сохранность всходов, последующий рост и развитие многолетних трав.

Во второй и последующие годы жизни многолетних трав отмечают возобновление вегетации (при переходе температуры воздуха весной через +5 °С) и начало весеннего отрастания растений. У злаков весеннее отрастание отмечают с появлением интенсивной зеленой окраски листьев и увеличением их размеров, у бобовых — с разворачиванием ли-

стве. Далее у злаковых трав фиксируют начало и полное кущение, выход в трубку, начало и полное колошение или выметывание (появление на $\frac{1}{3}$ длины соцветий из влагалища листа), цветение. Наблюдения за цветением тимopheевки луговой, овсяницы луговой, ежи сборной, двуклосточника тростникового проводят рано утром, житняка, костреца безостого, волоснеца, пырея — в послеполуденные часы. На травостоях бобовых трав отмечают начало стеблевания, начало и полную бутонизацию, начало и полное цветение. Фенологические наблюдения и учеты позволяют определять, в какие фазы происходит интенсивное нарастание вегетативной массы многолетних трав, как изменяется по мере роста и развития химический состав растений, переваримость питательных веществ, что позволяет установить лучшие сроки уборки травостоев для заготовки высококачественных кормов.

Густота стояния растений. В опытах изучают влияние применяемых приемов на полевую всхожесть семян, жизнеспособность всходов, а также сохранность растений по годам пользования травостоем. Густоту стояния растений определяют на стационарных площадках с четным числом (2–4) рядков (три площадки по 0,25–0,50 м² на делянке в каждой повторности опыта). Площадки выделяют после появления полных всходов. Их отмечают деревянными колышками (15 × 15 × 150 мм). Высота колышка над землей должна быть ниже среза при уборке покровных культур и многолетних трав.

Количество растений подсчитывают при появлении полных всходов, после уборки покровной культуры, перед уходом в зиму и после перезимовки. Наблюдения за густотой стояния растений часто продолжают в процессе вегетации по годам пользования травостоем. В этом случае подсчеты на бобовых травах проводят весной после их отрастания, через две недели после укосов и перед уходом в зиму. На травостоях злаков после кущения подсчитывают только количество стеблей.

Наблюдения за густотой стояния растений позволяют определить динамику их изреживания, установить причину выпадения и разработать мероприятия по максимальной сохранности травостоев.

Для определения густоты стояния растений покровных культур по диагонали делянки выделяют три самостоятельные площадки (два рядка по 1 пог. м), которые закрепляют временными колышками или металли-

ческими шпильками. Подсчеты проводят при появлении полных всходов и перед уборкой покровных культур. При втором подсчете растения осторожно выкапывают из почвы с ненарушенным узлом кущения, определяют количество растений и стеблей (генеративных и вегетативных). При необходимости растения связывают в снопы и используют для структурного анализа.

Освещенность трав. В период нахождения под покровными культурами всходы многолетних трав могут сильно угнетаться в связи с недостаточным освещением. Для измерения освещенности используют переносной фотоэлектрический люксметр. Освещенность определяют на уровне верхних листьев многолетних трав в основные фазы развития покровных культур или в динамике. Наблюдения ведут в безоблачный день в 9, 12, 15 и 18 ч. Измерения проводят в 10 местах делянки в двух несмежных повторностях опыта.

Влажность почвы — важный показатель, с помощью которого можно установить причину гибели всходов многолетних трав под покровом других культур, в период кратковременных и длительных засух или избыточного переувлажнения почвы. По наличию влаги в почве можно также судить об условиях, складывающихся для роста и развития многолетних трав в период вегетации по годам пользования травостоем. По влажности почвы назначают сроки полива и поливную норму.

Определяют влажность почвы в пробах, взятых по вариантам опыта с двух несмежных повторностей в трех местах делянки. Влажность почвы определяют два раза в месяц или взятие образцов приурочивают к фазам развития и к наиболее критическим периодам роста для растений, или более часто в динамике.

Влажность почвы обычно определяют по горизонтам 0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50 см. При изучении приемов, существенно влияющих на влагообеспеченность почвы, пробы берут на глубину активного слоя, где расположена корневая система растений (до 1 м).

Перед отбором образцов почвы металлические бюксы прокаливают и взвешивают, записывают их номер и массу в полевой журнал. Пробы почвы (20–40 г) высушивают в термостате при температуре 100–105 °С. Пробы супесчаных и суглинистых почв сушат не менее 8 ч, глинистых — 10 ч, торфяных — 12 ч. Контрольные сушки повторяют до

тех пор, пока разница между последней и предыдущей массой окажется не больше 0,1 г.

Влажность почвы (В, %) рассчитывают по формуле:

$$B = \frac{a}{b} \cdot 100,$$

где а – масса испарившейся воды, г;

б – масса сухой почвы, г.

Микроклимат в травостоях. Для наблюдения за микроклиматом в травостоях многолетних трав необходимо иметь делянки с защитными полосами, позволяющими устранить краевой эффект. В некоторых случаях для сопоставления полученных данных целесообразно параллельно проводить наблюдения на площадках с регулярно скашиваемым травостоем.

Температуру воздуха на поверхности почвы определяют срочными, минимальным и максимальным термометрами; на различных уровнях высоты растений — срочным и максимальным (с защитой Кудряшова) и минимальным термометрам. В некоторых опытах температуру почвы во время вегетации растений измеряют термометрами Саввинова на глубине 5, 10, 15 и 20 см. Влажность воздуха в травостое определяют психрометром с защитой Биткевича. Абсолютную и относительную влажность воздуха, а также дефицит влажности вычисляют по показаниям термометров-психрометров с помощью психометрической таблицы. Температуру и влажность воздуха определяют ежедневно в 9, 12 и 18 ч.

Зимостойкость многолетних трав. Зимостойкость растений зависит от условий выращивания, режимов использования травостоев и других факторов.

Общее состояние травостоев многолетних трав перед уходом в зиму и после перезимовки оценивают глазомерно по пятибалльной шкале: 0 – сплошное выпадение растений, 1 – плохое (погибли почти все растения), 2 – ниже среднего (погибло свыше половины растений), 3 – среднее (погибло около половины растений), 4 – хорошее (изреживание растений незначительное), 5 – отличное (погибших растений нет). Баллом 5 оценивают делянки с нормальной, равномерной по всей пло-

щади густотой стояния растений, с хорошо развитым травостоем, неповрежденным вредителями и болезнями.

Количественный учет погибших растений проводят на стационарных площадках (предназначенных для определения густоты стояния растений) после прекращения вегетации, перед уходом растений в зиму и весной через две–три недели после начала вегетации. Весенний подсчет ранее указанного срока не рекомендуется, так как у погибших бобовых трав часто наблюдается ложное отрастание прикорневой розетки листьев.

Подсчитать погибшие и сохранившиеся растения на стационарных площадках иногда бывает сложно. В этом случае их выкапывают. Если стационарные площадки необходимо сохранить, растения выкапывают на соседней площади и определяют процент погибших.

Для установления времени гибели многолетних трав в период перезимовки в первой декаде каждого месяца, начиная с 10 декабря, с неучетных частей делянок берут монолиты $25 \times 30 \times 25$ см. Для удобства и сохранности монолитов с осени вбивают специальные металлические каркасы без дна, местоположение которых отмечают вешками.

При взятии проб в поле зимой их помещают в деревянные ящики, накрывают соломой или мешками, чтобы предохранить от вымерзания. Для оттаивания монолиты ставят в помещение, температура в котором составляет $+5$ °С. Во избежание подсыхания растения накрывают влажной мешковиной. После оттаивания пробы переносят в светлое помещение и отращивают при температуре 15 – 20 °С.

Подсчеты проводят на 15-й день после отбора проб в поле. Растения отделяют от почвы, осторожно промывают водой и подсчитывают живые, давшие новые корешки и листочки, и погибшие без новых корешков и листочков. К живым также относят растения с ненарушенной корневой системой, не давшие новых корешков, но дружно отрастающие, а также давшие корешки, но не отросшие. Чтобы установить, что растения действительно не погибли, корневую систему разрезают вдоль. Если в зоне корневой шейки корень изменил окраску и началось его разложение, растения считают погибшими, несмотря на возможность ложного отрастания розетки листьев. Одновременно с наблюдениями за отрастанием проводят микроскопические исследования тканей почек

зимующих побегов и зоны, граничащей с корневой шейкой, устанавливают характер повреждения тканей, отмечают случаи появления снежной плесени и других болезней.

Чтобы выявить причину выпадения многолетних трав при перезимовке, проводят ряд дополнительных сопутствующих наблюдений. Определяют состояние растения перед уходом в зиму. Для этого в разных местах делянки выкапывают по 15–20 растений и подсчитывают на них укороченные и удлиненные вегетативные побеги, количество генеративных побегов. При изучении зимостойкости целесообразно проследить за изменениями содержания запасных питательных веществ в корневой системе растений. Чаще всего перед уходом в зиму и после схода снежного покрова (до отрастания растений) в корнях определяют содержание растворимых углеводов (по группам), крахмала, гемицеллюлозы, клетчатки, а также белкового и небелкового азота.

Для определения причин гибели многолетних трав в процессе перезимовки отмечают случаи застоя воды в осенний и весенний периоды, его продолжительность; выпадение снега на промерзшую или талую почву; установление снежного покрова и его высоту в динамике; образование ледяной корки (особенно притертой) и полный сход снега во время оттепелей; глубину промерзания почвы; выпирание корневой системы из почвы и попеременного ее оттаивания и замерзания в ранневесенний период и т. д. Перечисленные наблюдения заносят в полевой журнал.

Определение причин гибели многолетних трав в период вегетации. Чаще всего многолетние травы погибают в процессе перезимовки. Однако бывают случаи их гибели в период вегетации. Например, большинство бобовых трав не выдерживают близкого залегания грунтовых вод. В годы с избыточным количеством осадков на недостаточно дренированных почвах при длительном перенасыщении пахотного горизонта влагой растения могут погибнуть в летний период от вымокания.

Причиной гибели многолетних трав также является поражение растений вредителями и болезнями (корневыми гнилями, склеротиниозом и др.). Распространению вредителей и болезней способствует нарушение чередования культур в севообороте, режима питания растений и т. п. Травы могут погибнуть при нарушении режима использования тра-

востоя (частого отчуждения надземной массы, несвоевременного проведения последнего укоса). В ряде случаев для объяснения причины гибели многолетних трав требуется постановка дополнительных опытов (по установлению оптимального режима скашивания травостоев и др.).

Высота и густота травостоя. Высота и густота травостоя служат косвенными показателями его урожайности. По высоте травостоя ориентировочно устанавливают время проведения укосов, особенно второго и последующих. Высоту травостоя обязательно измеряют перед уборкой урожая, при необходимости ее определяют в динамике или по основным фазам развития растений.

Для определения высоты травостоя в 10–20 местах делянки в каждой повторности опыта по диагонали проводят измерения от поверхности почвы до верхушек большинства нормально развитых стеблей или до конца соцветий при их появлении (без вытягивания стеблей). Одновременно в 25–30 местах делянки измеряют длину растений (расстояние от поверхности почвы до верхушки вытянутого стебля). В травосмесях высоту травостоя определяют по основному компоненту, а длину растений измеряют отдельно у всех компонентов.

Для определения густоты травостоя на стационарных площадках перед укосом подсчитывают количество генеративных (с соцветиями) и вегетативных (удлиненных и укороченных) побегов.

Динамика накопления сухого вещества. Накопление сухого вещества определяют в основные фазы развития растений или по календарным срокам. Для этого на специально выделенных, не подлежащих учету частях делянок в каждой повторности опыта срезают растения с площадок 1 м² (по одной площадке на делянке).

Срезанные растения взвешивают, определяют ботанический состав, выделяя отдельно сорняки. Полученные фракции высушивают подогретым воздухом в специальных сушильных шкафах с активным вентилированием или в марлевых мешочках под навесом в хорошо проветриваемых местах. В тех случаях, когда пробы получаются очень большими, после взвешивания отбирают средний образец массой 1 кг. Если требуется, фракции после высушивания и взвешивания измельчают, берут средние пробы, в которых определяют содержание абсолютно сухого вещества. Количество воздушно-сухого или абсолютно сухого веще-

ства культурных растений (по компонентам и в сумме) и сорняков пересчитывают на 1 м².

Площадь листьев и чистая продуктивность фотосинтеза. Применяют несколько способов определения площади листьев. Наиболее быстрое и точное определение обеспечивают фотоэлектронные автоматические измерители площади листьев, которые по затенению светового потока измеряют площадь испытываемого объекта.

Площадь листьев у многолетних бобовых трав можно определить методом высечек, для чего необходимо иметь набор металлических трубок разного диаметра с заточенными краями (обычно для этого используют набор для сверления отверстий в пробках). Для определения площади листьев отбирают 10 растений с делянки или же берут растительные пробы с определенной площади. Если масса растений большая, после ее взвешивания отбирают среднюю пробу, которую также взвешивают. С растений обрывают листья (без черешков) и взвешивают, одновременно на 50 из них сверлом определенного диаметра делают высечки. Зная массу и площадь высечек, а также общую массу листьев, определяют площадь листьев всей пробы (S , см²) по формуле:

$$S = \frac{P \cdot S_1 \cdot n}{P_1},$$

где S_1 – площадь одной высечки, см;

n – число высечек;

P – общая масса листьев, г;

P_1 – масса высечек, г.

Зная густоту стояния растений или площадь, с которой были взяты пробы, рассчитывают площадь листьев на 1 га.

Площадь листьев определяют также путем обрисовывания их контуров на бумаге и измерения планиметром. Кроме того, можно нарисованные на бумаге контуры листьев вырезать и взвесить. Одновременно из точно такого листа бумаги вырезают квадрат площадью 100 см² и взвешивают. Площадь листьев (S , см) в этом случае определяют по формуле:

$$S = \frac{P}{P_1} \cdot 100,$$

где P – масса бумаги с контурами листьев, г;

P_1 – масса бумаги площадью 100 см², г.

Площадь листьев многолетних злаковых трав помимо перечисленных методов определяют по формуле:

$$S = \frac{2}{3} \cdot AB \approx 0,67 \cdot A \cdot B,$$

где А – ширина листьев у основания, см;

В – длина листьев, см.

Этим методом можно определять площадь листьев одних и тех же растений в динамике, не срезая их.

Для определения эффективности ассимиляции листового аппарата во время вегетации растений определяют чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). Для этого через установленные промежутки времени (обычно 7–10 дней) берут пробы растений с определенной площади или по 10 растений с делянки, определяют площадь листьев и массу сухого вещества. Чистую продуктивность фотосинтеза вычисляют по формуле Кидда, Веста и Бриггса:

$$\Phi_{\text{ч.пр.}} = \frac{B_2 - B_1}{(L_1 + L_2) \cdot 0,5 \cdot n},$$

где $\Phi_{\text{ч.пр.}}$ – количество сухой массы, образуемой за учитываемый промежуток времени (n) в расчете на 1 м² листьев, г/м² сут;

B_1 и B_2 – сухая масса растений с 1 м² или с 1 га посева в начале и конце учитываемого промежутка времени;

$B_2 - B_1$ – прибавка сухой массы за учетный период;

L_1 и L_2 – площадь листьев растений на 1 м² или на 1 га посева в начале и конце учитываемого промежутка времени;

$(L_1 + L_2) \cdot 0,5$ – средняя площадь листьев за данный промежуток времени;

n – число дней в учетном промежутке времени.

В связи с тем, что в состав сортов клевера лугового и других многолетних трав входят популяции, резко различающиеся по темпу роста и развития, пробы, составленные из отдельных растений, взятых в разных местах делянок, не всегда могут в достаточной мере характеризовать травостой. Поэтому лучше применять метод отбора проб многолетних трав с определенной площади (0,5–1,0 м²). Из больших проб отбирают средний образец, определяют площадь листьев и сухую массу, пересчитывают на всю пробу и площадь.

Интенсивность фотосинтеза растений также определяют по количеству углекислого газа, поглощенного листьями (А. А. Ничипорович

и др. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М., 1961).

Структура урожая. Анализ структуры урожая позволяет изучить влияние условий выращивания и приемов агротехники на особенности формирования урожая многолетними травами, служит косвенной оценкой качества корма. Для определения структуры урожая за 1–2 дня до скашивания травостоя равномерно в нескольких местах делянок на всех или двух несмежных повторностях опыта отбирают пробы растений (срезают ножом, ножницами или серпом как можно ниже, чтобы подсчитать число побегов разной категории). Составляют смешанный образец массой 1–1,5 кг (150–200 г сухого вещества).

Образцы в сыром виде или после высушивания в снопах разделяют на следующие категории: генеративные побеги — стебли, несущие соцветия (у бобовых трав считают стебли с боковыми побегами); вегетативные удлиненные побеги — стебли с явно удлиненными междоузлиями, но не несущие соцветий; вегетативные укороченные побеги — стебли без удлиненных междоузлий и соцветий (пучки листьев у злаковых, розетки у бобовых трав).

В свою очередь, каждую категорию побегов разделяют на фракции. Генеративные побеги разделяют на соцветия (у злаков — метелка, султан, колос; у бобовых — головка, кисть и пр.), соломину (у бобовых — стебель со всеми боковыми побегами), листья (у злаков с влагалищами, у бобовых с черешками). Удлиненные вегетативные побеги разделяют на соломину (стебель) и листья. Укороченные вегетативные побеги не разделяют.

В полевой журнал записывают число и массу сухих побегов по категориям, массу фракций по каждой категории. На основании взвешиваний вычисляют (в процентах) количество генеративных, удлиненных и укороченных вегетативных побегов, соцветий, стеблей и листьев. Число побегов на 1 м² характеризует плотность стеблестоя.

На основании разбора снопов и результатов взвешиваний определяют облиственность. Для этого объединяют массу побегов всех категорий и принимают ее за 100 %. Объединяют массу листьев всех категорий и высчитывают их содержание в процентах к общей массе растений. У бобовых трав к фракции «листья» относят соцветия — головки или кисти, у злаковых — листовые пластинки стеблевых листьев вместе

с влагалищами и укороченные вегетативные побеги. Обычно колосья, султаны или метелки у злаковых многолетних трав относят к фракции «стебли». Но в связи с тем, что их питательная ценность по сравнению с соломиной выше, их можно выделять в самостоятельную третью фракцию — «соцветия». Фракционный состав побегов, а также облиственность обычно коррелируют с показателями химического состава и питательной ценностью выращенной кормовой массы.

Учет урожайности многолетних трав. Урожайность зеленой массы определяют сплошным способом (взвешиванием всей массы с учетной площади делянок). Выход воздушно-сухого или абсолютно сухого вещества чаще рассчитывают по пробным снопам, взятым во время уборки зеленой массы. Содержание абсолютно сухого вещества определяют путем взятия из измельченной зеленой массы пробного снопа двух навесок по 50–80 г и высушивают их при 100–105 °С до постоянной массы.

Техника взятия пробных снопов зависит от способа уборки зеленой массы. При скашивании травостоя вручную или косилкой пробный сноп берут из прокосов в нескольких местах делянки мелкими пучками (1 % от массы со всей делянки, но не менее 1 кг). При уборке многолетних трав переоборудованными самоходными зерновыми комбайнами или самоходными кормоуборочными комбайнами Е-280 и КСК-100 пробные снопы берут с каждой делянки непосредственно перед скашиванием (один сноп для определения выхода воздушно-сухого или абсолютно сухого вещества, второй сноп — для анализа ботанического состава травостоя). Так как срезанные растения быстро теряют воду, пробные снопы взвешивают дважды: сразу же после взятия в поле и перед измельчением для взятия навесок на содержание абсолютно сухого вещества. Потерянную в промежутке между двумя взвешиваниями влагу учитывают при пересчете зеленой массы на абсолютно сухое вещество.

При необходимости выход сена определяют путем высушивания зеленой массы непосредственно в поле. При этом взвешивают воздушно-сухую массу, определяют в ней содержание абсолютно сухого вещества и пересчитывают урожай сена (X) на стандартную (16%-ную) влажность по формуле:

$$X = \frac{A \cdot (100 - B)}{100 - 16},$$

где А – урожай сена без поправки на влажность;

В – влажность сена при взвешивании.

Ботанический состав травостоя. Пробные снопы, взятые для ботанического анализа, разбирают в зеленом или сухом виде. Легче и быстрее разбирать зеленые растения. Однако при большом количестве образцов их можно сохранить (в течение месяца) в зеленом виде лишь в холодильнике при нулевой температуре. Пробные снопы обычно разбирают на бобовые, злаковые компоненты и сорняки. Сорные растения подразделяют на культурные и собственно сорняки. При необходимости бобовые и злаковые травы подразделяют на виды. Полученные фракции после высушивания взвешивают и вычисляют процентное соотношение в урожае бобовых, злаковых трав и сорняков. При наличии в снопах старики (остатки стерни покровных культур и т. п.) ее выделяют в отдельную фракцию.

Учет корневых и пожнивных остатков. В исследованиях с многолетними травами важно установить, как изучаемые приемы будут влиять не только на урожайность надземной массы, но и на количество пожнивных и корневых остатков. По ним определяют накопление в почве биологического азота, гумуса и других питательных веществ.

Корневую систему многолетних трав учитывают путем взятия почвенных монолитов. Для определения количества пожнивных остатков перед тем, как взять монолит, с площади убирают все опавшие листья и другие органические остатки надземных частей растений, которые складывают в бумажные пакеты и высушивают.

Монолиты вырезают специальной острой лопаткой или вынимают с помощью стального бура конструкции С. С. Шаина. При рядовом посеве ширина монолита должна соответствовать ширине одного или двух междурядий. Длину же выбирают так, чтобы можно было облегчить пересчет корневой массы на 1 м² или на 1 га.

Монолиты отбирают на разную глубину, но она должна быть не меньше пахотного горизонта, где сосредоточена основная масса корней. Обычно бур забивают в почву на глубину 40 см. Наличие на одной стенке прорезей на расстоянии 10 см друг от друга позволяет, с помощью

специальных ножей разделить монолит по горизонтам на части и определить содержание в них корней. На делянке отбирают не менее трех–четырёх монолитов прямоугольного сечения в каждой из двух повторностей опыта. На пестрых травостоях количество монолитов удваивают.

Монолит предварительно замачивают, а затем отмывают на ситах с отверстиями разного диаметра. После отмывки корни разбирают, отделяя от них сор, высушивают до постоянной массы и взвешивают.

При необходимости корни после отмывки разделяют на фракции: тонкие (диаметр до 1 мм) и крупные (диаметр больше 1 мм). Остатки влаги снимают фильтровальной бумагой или марлей. Затем корни погружают в мерный цилиндр с водой и по разности объемов воды до и после погружения определяют их объем. Зная объем и средний диаметр корней, можно приблизительно рассчитать площадь их поверхности и суммарную длину.

Зная массу сухих корневых и пожнивных остатков, а также площадь поверхности монолитов, определяют их количество на 1 га. Для определения количества питательных веществ, оставляемых растениями в почве с корневыми и пожнивными остатками, пробы размалывают и анализируют.

Питательная ценность корма и вынос элементов питания с урожаем. Для более полной оценки агротехнических приемов наряду с учетом урожайности необходимо определить питательную ценность кормовой массы. Для контроля качества кормов в растительном сырье определяют содержание сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, сырой золы и БЭВ. При необходимости дополнительно определяют содержание в растениях белкового и небелкового азота, незаменимых аминокислот, каротина и др. В ряде случаев для более полной оценки определяют содержание водорастворимых углеводов, крахмала, лигнина и гемицеллюлозы. Определение водорастворимых углеводов позволяет контролировать сахаро-протеиновое отношение. В опытах с дозами азота и сроками скашивания многолетних трав определяют содержание нитратов, а в ряде случаев и нитритов.

Применительно к многолетним травам наибольший интерес представляет изучение азотного, фосфорного и калийного питания в процессе роста и развития растений, для чего в растительной массе определя-

ют содержание азота, фосфора и калия. В опытах с применением органических и минеральных удобрений, а также с известкованием кислых почв и использованием микроэлементов, целесообразно также проследить за кальциевым и магниевым обменом, поступлением в растения молибдена, бора, меди, цинка, кобальта, марганца и других микроэлементов.

Для определения биологической фиксации азота в полевых условиях применяется разностный метод, основанный на выносе этого элемента бобовыми и злаковыми видами.

В смешанных посевах многолетних трав анализ можно проводить без разделения на компоненты, но лучше анализировать каждый вид отдельно. Общий образец обычно берут перед уборкой, когда разделение на компоненты требует много труда и времени.

Если в травосмеси, кроме специальных опытов по изучению отдельных компонентов, содержится несколько видов бобовых и злаковых культур, то разделение можно проводить в целом на злаковые и бобовые травы. В опытах с удобрениями при наличии большого количества сорняков в их массе также определяют основные элементы питания, чтобы можно было рассчитать их вынос из почвы.

Пробы на химический анализ отбирают в день скашивания трав или накануне (за 1–2 дня до уборки) в сухую погоду, после схода росы за короткий период времени, так как химический состав трав в течение суток меняется. Пробы отбирают при диагональном проходе по делянке с каждой повторности или не менее чем с двух несмежных повторностей опыта. Растения срезают в 10 местах делянки на высоте среза тех машин и орудий, которые будут применяться при учете урожая. Масса средней пробы или каждого компонента травосмеси (при отдельном определении питательной ценности и химического состава) должна быть не менее 1 кг. Отобранные пробы следует быстро доставить в химическую лабораторию, где их измельчают, тщательно перемешивают, доводят до 1 кг, затем фиксируют и высушивают.

Фиксацию проводят в термостате при температуре 100–105 °С в течение 20 мин, после чего пробы досушивают в шкафах с вентиляционным устройством при температуре 60–70 °С до воздушно-сухого состояния. Если имеется в достаточном объеме сушильное оборудование с

принудительной вентиляцией, пробы не фиксируют. При этом их растилают тонким слоем (не более 2 см) в лотки с сетчатым дном и высушивают при 60–70 °С до воздушно-сухого состояния. Высушенные таким образом пробы можно использовать также для анализа на содержание углеводов.

При необходимости проведения некоторых видов анализов в свежей зеленой массе (каротин и др.) одновременно со взятием пробы для фиксации и сушки из измельченной массы отбирают навески для таких анализов, а также для определения содержания абсолютно сухого вещества.

Предназначенные для анализа пробы после высушивания размалывают до частиц, проходящих через сито с отверстиями диаметром 1 мм (в ряде случаев требуется и более мелкое измельчение). После размолы растительные пробы помещают в стеклянные или полиэтиленовые банки с притертыми пробками или с навинчивающимися пластмассовыми крышками. Пробы также хранят в полиэтиленовых мешочках. Внутри банки или мешочка помещают этикетку с инвентарным номером пробы.

Пробы трав, высушенные при 60–70 °С, содержат гигроскопическую влагу, которую необходимо определить для точного пересчета результатов химических анализов. Для этого одновременно с проведением анализов в предварительно высушенные бюксы помещают 2 г воздушно-сухой массы в двукратной повторности и высушивают в течение 4–5 ч в шкафу при температуре 100–105 °С. Содержание гигроскопической влаги (В, %) рассчитывают по формуле:

$$B(\%) = \frac{B \cdot 100}{a},$$

где В – разница в массе пробы до и после высушивания, г;

а – воздушно-сухая навеска, г.

Анализ многолетних трав на питательную ценность проводят по общепринятым методикам.

11.2. Однолетние травы и зернофуражные культуры

Основная цель опыта — изучить биологические особенности видов и сортов, фитоценоотические взаимоотношения компонентов и на

этой основе повысить эффективность смешанных посевов; установить оптимальные условия для эффективного функционирования фотосинтетического и симбиотического (для бобовых) аппарата (архитектоника растений и посева, радиационный, пищевой, водный и воздушный режимы при возделывании зернофуражных и зернобобовых в одновидовых и смешанных посевах); разработать комплекс агротехнических приемов повышения урожайности, содержания белка и других питательных веществ (подбор компонентов на видовом и сортовом уровне, система удобрений, агротехнические и химические меры борьбы с сорняками, болезнями и вредителями и др.), обеспечивающий ресурсо- и энергосбережение, устойчивость производства зерна и протеина, защиту окружающей среда.

Основные требования к конструированию однолетних агрофитоценозов в значительной степени определяются их целевым и агротехническим назначением (табл. 14).

14. Основные требования к конструированию однолетних агрофитоценозов

Целевое и агротехническое назначение агрофитоценозов	Основные требования к конструированию	Основной вид корма
Занятые пары полевых севооборотов	Короткий вегетационный период, интенсивное нарастание биомассы, накопление биологического азота в корневых и пожнивных остатках, улучшение физических свойств почвы, неполегаемость	Сенаж, силос, сено, зеленый корм
Покровные культуры в полевых и кормовых севооборотах	Короткий вегетационный период, слабая конкурентная активность по отношению к многолетним травам, неполегаемость	Зеленый корм
Основные посевы в полевых и кормовых севооборотах	Длительный вегетационный период, высокая продуктивность на основе многокомпонентного ценоза, отавность, неполегаемость	Силос, сенаж

Основные исследуемые параметры агрофитоценозов однолетних культур представлены на рисунке 19.



Рис. 19. Общая схема изучения параметров одновидовых и сложных агрофитоценозов однолетних культур

Фенологические наблюдения. Фазы вегетации однолетних злаковых культур — всходы, выход в трубку, выметывание (колошение), цветение, молочная, восковая и полная спелость; бобовых культур — всходы, ветвление, бутонизация, цветение, образование бобов, зеленая, восковая и полная спелость семян.

Выход в трубку злаковых зернофуражных культур определяют путем прощупывания первого стеблевого узла главного стебля. Фазу выметывания (колошения) отмечают во время появления из верхнего листового влагалища метелки или колоса ($\frac{1}{3}$ части). Фазы спелости зерна: молочная — зерно зеленого цвета, из которого при сдавливании вытекает жидкость зелено-молочного цвета, в нижней части растения начинается пожелтение стебля и листьев; восковая — зерно приобретает желтоватый цвет и восковую консистенцию, легко режется ногтем, все растение к этому времени также имеет желтоватую окраску; полная спелость — растение обычно полностью желтеет, зерно твердеет.

Полное созревание зернобобовых культур отмечают, когда у большинства растений на делянке созрело не менее 50 % бобов (для сои при созревании верхних бобов у 90 % растений).

Обязательно отмечают время посева. В результате обработки данных фенологических наблюдений устанавливают продолжительность межфазных периодов. В большинстве случаев определяют время от посева до цветения, от цветения до созревания и общей продолжительности вегетационного периода.

По данным метеорологических наблюдений можно установить влияние количества осадков и тепла на продолжительность межфазных периодов. Для этого можно использовать также гидротермический коэффициент, предложенный Селяниновым. С увеличением гидротермического коэффициента у однолетних бобовых культур удлиняется период от цветения до созревания.

Полевая всхожесть — количество растений в фазе полных всходов. Густота всходов дает возможность установить отношение взошедших растений к числу высеванных семян (в процентах). Если на однотипных вариантах при равной норме посева отмечается большое колебание в числе взошедших растений (превышающее 10–15 %), то это свидетельствует о некачественной работе посевных агрегатов.

Подсчет количества растений перед уборкой позволяет определить изреживаемость травостоя за вегетационный период и установить влияние изучаемого фактора на устойчивость растений к выпадению во время вегетации.

Для определения количества всходов и стояния растений к уборке подсчитывают растения на учетных площадках в трехкратной повторности на каждой делянке. Площадки выделяют по диагонали делянки и закрепляют колышками. Общая площадь учетных площадок на делянке должна быть равна 1 м².

В смешанных посевах подсчет количества растений проводят для каждого компонента отдельно. При высеве сложных смесей для того, чтобы в пробу вошло достаточное количество растений, целесообразно увеличить размер учетных площадок до 1 м². Для определения густоты травостоя перед уборкой кустящиеся растения с закрепленных площадок выкапывают и подсчитывают. Растения с этих площадок можно использовать для структурных и других анализов.

При работе с озимыми зернофуражными культурами (кормовыми сортами ржи, пшеницы, пшенично-ржаных гибридов — тритикале) определяют их зимостойкость путем подсчета растений на постоянных площадках осенью и весной, или живых и погибших растений весной. Подсчеты проводят после того, как растения тронулись в рост. Для полноты учета в двух–трех местах на делянке (если позволяет ее площадь), или на защитках, на площадках по 0,25 м² выкапывают растения, подсчитывают число живых и погибших, затем определяют (в процентах) их отношение к общему числу выкопанных растений. Наиболее объективным показателем зимостойкости является уровень снижения урожайности в результате воздействия неблагоприятных факторов, определяемый в специальных опытах с различными сроками стрессовых нагрузок.

Динамику роста растений определяют в основные фазы вегетации: бобовых — бутонизация, цветение, образование бобов; злаковых — выход в трубку, выметывание (колошение), цветение. При использовании однолетних трав в зеленом конвейере измеряют высоту растений через каждые 5–10 дней. Динамику роста определяют путем измерения на делянке 20–30 растений при проходе по диагонали.

Данные динамики роста позволяют установить период наиболее интенсивного роста растений. По многолетним данным динамики роста можно установить зависимость продуктивной устойчивости посевов от метеорологических условий вегетационного периода.

Динамика накопления зеленой массы и сухого вещества. Изучение динамики накопления зеленой массы и сухого вещества позволяет выявить особенности накопления растительной массы компонентами смешанных посевов и влияние одного компонента на другой (фитоценоотические отношения); установить оптимальные сроки уборки на зеленый корм, силос, сено, сенаж, травяную муку и зерносенаж.

Динамику накопления зеленой массы и сухого вещества определяют в основные фазы вегетации путем учета зеленой массы на выделенных и закрепленных колышками площадках по 0,25 м² в четырехкратной повторности. На этих же площадках проводят учет отавы и наблюдения за ее отрастанием. После взвешивания зеленой массы с каждой площадки ее объединяют и берут две средние пробы массой 1–2 кг.

Для отбора пробы на брезенте или пленке расстилают зеленую массу, полученную с первой площадки, слоем 10–15 см; сверху расстилают зеленую массу со второй площадки и т. д. Затем из всей массы на толщину слоя берут горстями в шести–восемь местах две средние пробы. Эти пробы используют для определения ботанического состава смешанных посевов, содержания питательных веществ и других анализов.

Параллельное изучение динамики накопления сухого вещества (вместе с корневой массой) и листовой поверхности позволяет определить чистую продуктивность фотосинтеза по периодам вегетации и другие показатели фотосинтетической деятельности посевов (см. раздел «Многолетние травы»).

Освещенность листьев верхних, средних и нижних ярусов определяется в основные фазы вегетации в течение дня (7, 11, 15 и 19 часов) в трех повторениях; количество измерений в каждом варианте — 16. Наблюдения целесообразны особенно при использовании посевов в качестве покровной культуры для многолетних трав.

Отавность однолетних трав — один из важных показателей при сравнительном изучении биологии и урожайности однолетних трав в различных зонах.

Отавность определяют в опытах, в которых изучают сроки уборки хорошо отрастающих однолетних трав — суданской травы, пайзы, райграса однолетнего и др. Наблюдения за отрастанием проводят на площадках, на которых определяют динамику накопления растительной массы. Используя данные наблюдений, можно установить влияние срока основного укоса на урожай отавы, выявить оптимальные сроки скашивания и общую продуктивность культуры. Целесообразны исследования по изучению связи между количеством пластических веществ в корневой массе и нижней части стеблей и отавностью.

Динамика накопления питательных веществ. Изучение динамики накопления питательных веществ в растениях особенно важно при использовании однолетних трав в зеленом конвейере. Для этого используют образцы, в которых определяли динамику накопления растительной массы. После просушки и взвешивания их размалывают и анализируют. В высушенных образцах определяют содержание питательных веществ и зольных элементов. При определении азота и углеводов образцы зеленой массы необходимо фиксировать (методика фиксации образцов приведена в разделе «Многолетние травы»).

Полегаемость определяют разными способами. Широко применяется глазомерный способ определения степени полегания по 5-балльной шкале: 1 — полегание отсутствует; 2 — отдельные растения имеют незначительный (до 20°) наклон; 3 — до 50 % растений на делянке имеют наклон 20–40°; 4 — основная масса растений имеет наклон 45–60° от вертикали; 5 — растения полностью полегли.

Более точные результаты дает оценка степени полегания по соотношению высоты стеблестоя к длине растений в процентах. Иногда для определения степени полегания прибегают к измерению угла наклона стеблей по отношению к почве (20–30 замеров). Оценку проводят в день полегания, а затем через 7–10 дней, чтобы учесть способность некоторых посевов подниматься.

Большое значение имеет определение продолжительности полегания, поскольку чем дольше посев находится в таком состоянии, тем неблагоприятнее условия для функционирования листового аппарата и

выше биологические потери продуктивности, достигающие 30–40 % и более от возможной. Необходимо также учитывать характер полегания растений: от основания стебля, от третьего–четвертого узлов и т. д.

Фитосанитарное состояние посевов — комплексный показатель, учитывающий степень развития и распространения болезней, количество и вредоносность вредителей и т. д. Для оценки посевов по устойчивости к болезням необходимы регулярные наблюдения и учет поражения растений в течение всего периода вегетации в сроки, указанные в календаре фитопатологических учетов. При поражениях отдельных видов несколькими патогенами учет проводят по каждой болезни отдельно. В зависимости от особенностей проявления болезней учитывают их распространенность и степень поражения.

Различают болезни, поражающие листья и стебли (бурая, желтая, стеблевая, корончатая ржавчина, мучнистая роса, сетчатый гельминтоспориоз, септориоз и т. д.), колосья и метелки (твердая и пыльная головня, спорынья и др.), корни (корневые гнили и др.). К числу наиболее распространенных вредителей зернобобовых культур относятся гороховая тля, зерновка. При учетах определяют численность вредителей, их плотность — количество особей на единицу площади или на одно растение, встречаемость.

При проведении более тщательных исследований необходимо использовать специальные методики (Методические указания по экологическому сортоиспытанию зерновых культур; Методические указания по выявлению устойчивости сортов гороха к гороховой зерновке; Методика учета гороховой тли в посевах гороха и др.). Для оценки фитосанитарного состояния посевов проводят также учеты и наблюдения за микрофлорой и фауной почвы.

Семенная продуктивность. У зернобобовых культур биологическую семенную продуктивность определяют путем подсчета количества бобов и семян в бобе. Для этого отбирают не менее 50 растений при проходе по диагонали делянки. На растениях определяют количество бобов, обмолачивают их, подсчитывают и взвешивают семена, устанавливают среднее количество бобов на одно растение, количество семян в каждом бобе.

В условиях недостаточной теплообеспеченности необходимы наблюдения за динамикой созревания семян. Для этого отбирают по

диагонали на делянке не менее 20 растений, с которых в тот же день все завязавшиеся бобы разделяют на группы по степени созревания: бурые, коричневые и желтые, зеленые бобы с налитыми семенами.

Урожайность определяют путем обмолота учетной площади делянок. Для уборки лучше пользоваться малогабаритными комбайнами (типа «Сампо»). При этом важно соблюдать постоянный режим и продолжительность работы комбайна вхолостую между уборкой каждой делянки, чтобы зерно полностью поступало в бункер или мешок. Бункерную массу зерна после сортировки пересчитывают на 14%-ную влажность, определяют также урожайность абсолютно сухого зерна. Урожайность соломы определяют методом пробного снопа или взвешиванием соломы со всей делянки.

Определение содержания в зерне и соломе сырого протеина, жира, клетчатки, БЭВ позволяет рассчитать концентрацию и сбор обменной и валовой энергии с единицы площади. По отношению выхода и затрат обменной энергии рассчитывают биоэнергетический коэффициент и коэффициент биоэнергетической эффективности (см. «Агроэнергетическая оценка технологий и севооборотов»).

Коэффициенты, характеризующие конкурентные взаимоотношения видов в агрофитоценозах, определяются по формуле:

$$K = \frac{q_{\text{сп}}}{q_{\text{оп}}},$$

где K – коэффициент, характеризующий конкурентные взаимоотношения видов; при $K = 1$ отношение к конкретному виду других – нейтральное, при $K > 1$ – ценоотические отношения положительные, при $K < 1$ – отрицательные;

$q_{\text{сп}}$ – количество сухого вещества одного растения в смешанных посевах, г;

$q_{\text{оп}}$ – количество сухого вещества одного растения в одновидовых посевах, г.

Такие данные позволяют классифицировать фитоценоотические взаимоотношения видов, особенно в парных сочетаниях.

Коэффициенты эффективности использования площади ($K_{\text{эп}}$) в одновидовых и смешанных посевах определяются на основании экспериментальных параметров продуктивности отдельных видов культур, полученных в одновидовых и смешанных посевах и их фактическому количеству на единице площади (кв. м) по соотношению:

$$K_{\text{эп}} = \frac{Q_{\text{оп}}}{Q_{\text{сп}}},$$

где $Q_{\text{оп}}$ – количество сухого вещества на единице площади одновидовых посевов, соответствующих смешанным, г. Условная площадь видов определяется по соотношению компонентов в общей норме посева семян. Например, при норме посева семян овса, вики и люпина 50 % : 30 % : 20 % от полной, расчетная площадь, которая будет занята этими культурами при одновидовом посеве, составит 0,5, 0,3 и 0,2 м²;

$Q_{\text{сп}}$ – количество сухого вещества на единице площади смешанных посевов, г.

При коэффициенте (К) меньшем единицы смешанные посевы в сравнении с одновидовыми по продуктивности менее эффективны; при $K >$ смешанные посевы превышают по эффективности использования площади одновидовые.

Количество сухого вещества в смешанных и условных одновидовых посевах определяется по следующему соотношению:

$$Q_{\text{оп.сп}} = \frac{\sum (k_1 C_1 + \dots k_n C_n)}{S},$$

где 1...n – порядковый номер вида;

$k_1 \dots k_n$ – количество растений отдельных видов на единице площади, шт.;

$C_1 \dots C_n$ – количество сухого вещества одного растения каждого вида, г;

S – учетная площадь.

Поскольку данные приводятся в расчете на 1 м², формула может иметь следующий вид:

$$Q_{\text{оп.сп}} = \sum (k_1 C_1 + k_n C_n).$$

Полученные данные сводятся в общую таблицу по форме 1 (табл. 15).

15. Форма 1. Количество сухого вещества в смешанных и условных одновидовых посевах (пример)

Культура	Условная площадь, занятая культурами, м ²	Количество растений к уборке на условной площади, шт.		Вес сухого вещества одного растения в посевах, г	
		в одновидовых посевах	в смешанных посевах	в одновидовых посевах	в смешанных посевах
Овес	0,5	205	195	1,10	1,12
Вика	0,3	66	57	0,80	1,23
Люпин	0,2	22	22	4,67	4,66

В соответствии с полученными данными:

$$Q_{\text{оп}} = \frac{\sum (205 \cdot 1,1 + 66 \cdot 0,80 + 22 \cdot 4,67)}{1} = 381,1 \text{ г/м}^2,$$

$$Q_{\text{сп}} = \frac{\sum (195 \cdot 1,12 + 57 \cdot 1,23 + 22 \cdot 4,66)}{1} = 391,0 \text{ г/м}^2,$$

$$K_{\text{эп}} = \frac{391,0}{381,1} = 1,03.$$

Следовательно, в смешанных посевах площадь используется более эффективно.

11.3. Силосные культуры

Основным сырьем для получения силоса являются кукуруза, сорго, подсолнечник и некоторые другие культуры. Главные задачи исследований с силосными культурами — разработка агротехнических приемов, способствующих повышению урожайности и качества сырьевой массы.

Размер и форма делянок. При изучении способов обработки почвы, посева и других приемов целесообразно соотношение сторон делянки 1 : 10–1 : 15, в опытах с удобрениями, ядохимикатами и других, где смежные варианты оказывают влияние друг на друга — 1 : 2 или 1 : 3. В опытах, где исследуемые приемы не влияют друг на друга, посевную площадь делянки можно уменьшить до 25–30 м²; пропашные силосные культуры высевают широкорядным способом.

Норма высева. Для точной установки нормы высева крупносемянных культур на сеялке, дополнительно необходимо подсчитать число семян, высеваемых сеялкой на 10 м² при проезде ее по асфальту или плотному грунту. Для определения фактической нормы высева взвешивают семена перед посевом и семена, оставшиеся после посева.

Фенологические наблюдения. В период вегетации у однолетних злаковых культур (за исключением кукурузы) отмечают всходы, кущение, выход в трубку, колошение (или выметывание), цветение, молочную, восковую и полную спелость; у кукурузы — всходы, появление четвертого листа, выметывание, цветение метелок, выбрасывание нитей, формирование зерна, молочную, молочно-восковую, восковую спе-

лость; у подсолнечника — всходы, образование корзинок, начало и массовое цветение; у бобовых — всходы, начало образования боковых побегов (или ветвление), бутонизацию, цветение, образование бобов, зеленую и восковую спелость семян; у кормовой капусты — всходы, начало образования первой, второй, третьей и четвертой пар листьев, начало пожелтения нижних листьев; у многолетних силосных растений (гречиха Вейриха, гречиха забайкальская, силфия пронзеннолистная и др.) — всходы, бутонизацию, цветение. Кроме того, начиная со второго года жизни, у многолетних силосных растений весной отмечают появление побегов, образование розетки листьев и отрастание после каждого укоса.

Для всех культур отмечают дату посева и уборки.

Густота стояния растений. В опытах с однолетними силосными культурами густоту стояния растений определяют после появления полных всходов и перед уборкой. В случае образования у кукурузы пасынков окончательную густоту стояния надо определить в фазе выметывания. В последующем подсчет растений затрудняется, так как большой пасынок иногда можно принять за целое растение.

При широкорядном способе посева по диагонали делянки выделяют пять рядков двухметровой длины, на которых подсчитывают количество растений. В зависимости от требуемой точности подсчет ведут на двух несмежных делянках или во всех повторностях опыта. Среднее количество растений на 1 пог. м рядка пересчитывают на 1 га.

При высеве силосных культур в одновидовых и смешанных посевах обычным рядовым способом растения подсчитывают на пяти пробных площадках (по 1 м²), которые располагают по диагонали делянки.

В специальных опытах по изучению влияния густоты стояния растений на урожай и его качество растения подсчитывают на всей учетной делянке во всех повторностях до и после прореживания всходов, а также перед уборкой.

При изучении многолетних силосных растений густоту стояния определяют ежегодно на стационарных площадках после укоса, перед уходом в зиму и после перезимовки (для оценки зимостойкости). Приживаемость многолетних силосных культур после посадки рассады или высадки черенков определяют подсчетом числа укоренившихся расте-

ний по отношению к высаженным (в процентах) на всей площади делянки в каждой повторности.

Динамику роста учитывают по основным фазам вегетации. В отдельных случаях высоту растений измеряют через определенные промежутки времени (5, 10 или 15 дней). В смешанных посевах измеряют каждый компонент.

Динамику накопления зеленой и сухой массы определяют для характеристики влияния отдельных приемов на интенсивность фотосинтеза растений, установления оптимальных сроков уборки на зеленый корм и силос.

При широкорядном способе посева в зависимости от фазы развития и густоты стояния растений срезают в рядке длиной 2 или 3 пог. м в трехкратной повторности. Определения проводят по фазам вегетации или через определенный срок в зависимости от целей исследования. Отбирают пробы с той части делянки, на которой не будет учитываться урожай. Каждую пробу (в смешанных посевах по компонентам) взвешивают в сыром виде и пересчитывают массу на единицу площади. Содержание сухого вещества в зеленой массе определяют путем взятия пробного снопа (в смешанных посевах по каждому компоненту).

Площадь листьев и чистая продуктивность фотосинтеза. При изучении силосных культур площадь листьев обычно определяют методом высечек или путем обрисовывания контуров листьев на бумаге. Чистую продуктивность фотосинтеза определяют расчетным путем (см. раздел «Многолетние травы»).

Интенсивность освещения листьев силосных культур верхних, средних и нижних ярусов рассчитывают как среднее арифметическое из 16 измерений (люксметром) в разных точках определенного яруса листьев. Освещенность определяют не менее трех раз за вегетацию, несколько раз в течение дня, например в 7, 9, 11, 13, 15, 17 и 19 ч. В смешанных посевах освещенность растений определяют в разных ярусах в основные фазы вегетации.

Полегаемость определяют глазомерно или промером угла наклона (в градусах) между стеблем растения и поверхностью почвы по 50 растениям на каждой делянке.

Регулярные визуальные наблюдения за состоянием посевов на де-

лянках, как правило, проводят в одни и те же часы. Очень важно дать оценку посевам (по пятибалльной шкале) после заморозков, ливней, града, суховея, массового повреждения вредителями и т. д.

Структура урожая. Для определения структуры урожая силосных культур с каждой делянки опыта по диагонали или на неучетной части (если отбор по диагонали создает нежелательную пестроту) отбирают пробный сноп массой 5–10 кг, в который должны войти типичные растения.

Для правильного отбора типичных растений за 1–2 дня до уборки определяют фазу развития путем осмотра всех растений на двух рядках делянки в трех–четырёхкратной повторности. Сноп составляют не менее чем из 8–10 растений с двух–четырёх повторностей согласно процентному соотношению растений, находящихся в той или иной фазе. Пробный сноп разбирают на фракции. У кукурузы на силос обычно определяют массу стеблей, листьев, а начиная с молочной спелости зерна и массу початков (долю оберток определяют отдельно или объединяют с листьями); учитывают кустистость, число початков на растении. У подсолнечника определяют массу стеблей, листьев и корзинок; у сорго — массу метелок и стеблей с листьями; у кормовой капусты — массу стеблей и листьев. В каждой фракции определяют содержание (в процентах) сухого вещества.

Содержание сухого вещества и питательных веществ. Пробы отбирают в день уборки урожая, одновременно с определением структуры урожая. Для этого срезанные типичные растения (не менее 8–10 растений в пробе) измельчают. До начала молочной спелости и в случае тщательного измельчения (длина отрезков менее 1 см) растения можно измельчать целиком, в остальных случаях — по фракциям. Затем пробу тщательно перемешивают и отбирают образец около 1 кг. Для определения сухого вещества из него на технических весах с точностью до 0,1 г взвешивают 3–4 навески по 30–50 г и высушивают в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С до постоянной массы. Остальную часть образца высушивают в сушильном шкафу при 60 °С до воздушно-сухого состояния и используют для химических анализов.

Если взятые навески нельзя высушить немедленно, их обязательно выдерживают в термостате при 100–105 °С в течение 1–2 ч. Даль-

нейшую досушку можно закончить позднее: листья через 3–4 дня, листостебельную массу через 1–2 дня. Стебли и початки (наиболее влажную часть растений) досушивают сразу же или на следующий день. Разрыв в 2–4 дня между фиксацией измельченной массы и досушкой возможен лишь при тонком слое массы (около 2–3 см). Для этого навески сушат в широких алюминиевых стаканчиках (диаметром около 8–10 см).

В отдельных случаях работы по измельчению, взвешиванию, фиксации и сушке проб можно проводить и после уборки. Сохранность незафиксированных проб при этом возможна лишь при хранении измельченных растений или их частей в холодильнике или в прохладных помещениях под пленкой. Хранение там же измельченных в поле средних проб приводит к потере содержания сухого вещества. Листья, имеющие большую площадь соприкосновения с воздухом, быстрее теряют сухое вещество. Их измельчение и фиксацию необходимо проводить не позднее одного–двух дней с момента взятия проб. Стебли и початки выдерживают более длительное хранение — до трех дней.

Пример расчета содержания сухого вещества (S, %) в случае разрыва во времени между взятием снопов в поле и их сушкой:

$$S = \left(\frac{H_2}{H_1} \cdot 100 \right) \cdot \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{10}{50} \cdot 100 \right) \cdot \frac{5,0}{5,3} = 20 \cdot 0,95 = 19 \%,$$

где H_1 — масса навески до сушки (50 г);

H_2 — масса навески после окончательной сушки (10 г);

V_1 — масса снопа при взятии его в поле (5,3 кг);

V_2 — масса снопа перед измельчением, после хранения в холодном помещении (5,0 кг).

Уборка и учет урожая. Оптимальные сроки уборки на силос: кукурузы — в фазе молочно-восковой и восковой спелости зерна в початках; сорго — в фазе молочно-восковой спелости зерна; суданской травы — в фазе полного цветения и молочно-восковой спелости; подсолнечника — при цветении 40–50 % растений; кормовых бобов, сои, люпина, вики, гороха — в фазе зеленой и восковой спелости зерен в бобах нижних ярусов; кормовой капусты — перед устойчивыми заморозками.

Смешанные посевы убирают, когда силосной спелости достигает один из компонентов.

Перед уборкой проводят все учеты и наблюдения, отбирают сред-

ние пробы растений на химические анализы (почвенные пробы отбирают после учета урожая). При необходимости делают поправки на изреженность посевов или выключки, так как продуктивность растений, граничащих с местами выпадов, увеличивается на 20–50 %. Чтобы исключить влияние этих растений на результаты опыта, перед уборкой их подсчитывают и удаляют. Растения возле мест выпадов не удаляют, если изреживание произошло незадолго перед уборкой и не могло оказать заметного влияния на соседние растения. Фактическую учетную площадь делянки (S , m^2) рассчитывают по формуле:

$$S = (P - H) \cdot П,$$

где P – расчетное число растений на делянке;

H – число недостающих растений;

$П$ – площадь питания одного растения, м.

Учет урожая силосных культур проводят сплошным методом (применяемый иногда метод учета урожая по пробным снопам, пробным площадкам или отдельным растениям в опытах с силосными культурами не дает необходимой точности).

Урожай некоторых многолетних культур (гречиха Вейриха, окопник), имеющих небольшую надземную массу в первый год жизни, не учитывают, чтобы не ослабить растения. Осенью после скашивания надземной массы топинамбура и топинсолнечника обычно учитывают урожай клубней на 20 % площади делянки, а весной — на остальной площади.

Валовую, обменную энергию и кормовые единицы рассчитывают по данным химического анализа (см. раздел «Агроэнергетическая оценка технологий и севооборотов»).

Затраты совокупной энергии на 1 га рассчитывают по технологическим картам.

Наблюдения за ростом корней. Для изучения интенсивности роста и глубины проникновения корней растений в почву в естественных условиях пользуются траншейным методом В. Г. Ротмистрова. Метод состоит в том, что по обеим сторонам вырытой траншеи (4×1 м) высевают изучаемые культуры с междурядьями 18 см и расстоянием между растениями в рядке 4 см. В отвесных стенках траншеи на разном расстоянии от поверхности почвы делают 20 ниш шириной 20 см, высотой

5 см и глубиной 30 см. Систематическое наблюдение за появлением корневых окончаний в этих нишах позволяет определить динамику роста и максимальную глубину проникновения корней.

Масса корней. Для определения массы корней отбирают монолиты почвы квадратного сечения под растениями и в междурядьях. Буры применяют разного сечения и разной высоты в зависимости от схемы посева и цели исследования.

При широкорядном посеве кукурузы с междурядьями 60 см монолит почвы $20 \times 20 \times 20$ см берут в двух точках, под рядком и в междурядьях. Вначале бур устанавливают на рядок, захватывая с обеих его сторон по 10 см. Второй монолит берут рядом с первым в междурядье (рис. 20).

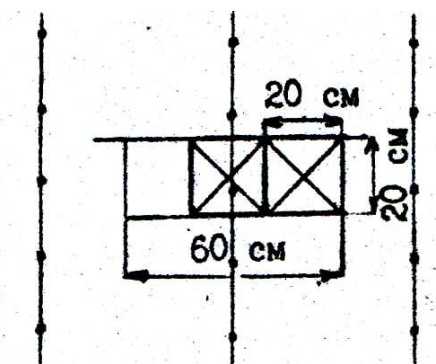


Рис. 20. Схема отбора почвенных монолитов при изучении корневой системы кормовых культур при ширине междурядий 60 см

Массу корней второго монолита умножают на два и, суммируя с массой корней первого монолита, определяют массу корней с площади 20×60 см.

Массу корней с определенной площади питания пересчитывают на 1 га. Повторность отбора монолитов должна быть пяти–шестикратная. Перед отбором монолита с корнями необходимо учитывать густоту стояния растений на опытных делянках. В корневой массе определяют содержание сухого вещества, азота и зольных элементов.

Изложенный метод применим и для определения массы корней в более глубоких слоях почвы. При этом меняют размер бура по высоте, поперечное сечение его должно быть таким же.

Распределение корней по горизонтам почвы. При изучении смешанных и одновидовых посевов силосных культур важно учитывать характер распределения корней в пахотном слое почвы. Монолиты почвы с корнями под растениями и в междурядьях в этом случае отбирают так же, как и при определении массы корней.

Для учета распределения корней по горизонтам почвы (0–10, 10–20 см) в посевах кукурузы, высеянной по схеме 60 × 60 см, применяют бур 20 × 20 × 20 см. В одной его стенке на расстоянии 10 см от верхней кромки делают паз, позволяющий при помощи специального ножа разделить монолит в почве на две части. Монолиты берут по горизонтам.

11.4. Кормовые корнеплоды

Основная задача исследований по кормовым корнеплодам состоит в разработке приемов агротехники, обеспечивающих повышение урожайности и качества корма, снижение затрат ручного труда.

Размер и форма делянок. Ширина делянок должна быть кратной ширине захвата машин и орудий, применяемых при посеве и уходе за кормовыми корнеплодами с соотношением сторон 1 : 10 или 1 : 15. Площадь делянки в опытах с обработкой почвы и уборкой может составлять 1000–1500 м². В опытах с удобрениями, ядохимикатами и гербицидами — 50 м², с соотношением сторон 1 : 2 или 1 : 3. В других опытах посевную площадь делянки можно уменьшить на 20–25 %.

Норму посева рассчитывают делением количества семян, высеянных одним сошником, на абсолютную массу 1000 семян. Для этого берут навеску семян, засыпают ее в семенной ящик, разделенный на секции для каждого высевающего аппарата, и проводят контрольный посев, после чего семена выбирают из ящика, взвешивают, определяют массу семян, высеянных каждым сошником, и делят на пройденный путь.

Фенологические наблюдения на посевах кормовой свеклы проводят на двух несмежных повторениях. Отмечают следующие фазы вегетации: начало появления и полные всходы, фазу вилочек, второй и третьей пары листьев, начало формирования корнеплодов, смыкание листьев в рядках и междурядьях.

Фазой образования новой пары листьев называют период появления верхушки этих листьев, фазой формирования корнеплодов — период, когда у 70 % растений заметно утолщение подсемядольного колена. Для установления фазы образования корнеплода отбирают пробу из 20 растений с неучетной части делянки, на двух несмежных повторениях (по 10 растений). Ориентировочно спелость корнеплодов отмечают глазомерно, когда у 30–40 % растений наблюдается сильное пожелтение и засыхание нижних листьев. В это время листья сникают и междурядья хорошо просматриваются. В такой период предпочтительнее проводить уборку.

Густоту всходов оценивают после их появления в 8–10 местах по двум диагоналям делянки на каждом повторении. Количество растений подсчитывают на всех рядках одного захвата сеялки (протяженность рядков — 2 м).

Полевую (абсолютную) всхожесть определяют отношением количества взошедших клубочков к количеству высеянных семян (в штуках на 1 пог. м рядка). Количество всхожих семян устанавливают путем подсчета всходов (при этом если они расположены на расстоянии 1 см друг от друга, то относятся к одному соплодию).

Глубину посева измеряют линейкой по этиолированной части растений. Во время полных всходов по диагонали делянки выкапывают растения и устанавливают расстояние от семени до поверхности почвы, которое показывает глубину посева. На каждой делянке следует проводить не менее 40–50 измерений в 5–10 точках.

Распределение растений по длине рядка определяют после полного появления всходов до и после формирования густоты насаждения и перед уборкой с помощью замера интервалов между растениями на двухметровых отрезках рядка, обозначенных колышками в момент появления всходов.

Степень повреждения растений кормовой свеклы культиватором при междурядных обработках зависит от фазы развития растений. До фазы семи–девяти листьев высчитывают количество подрезанных и засыпанных растений, в более поздние фазы развития учитывают также растения с поврежденными вегетативными органами.

Для оценки степени повреждения растений после прохода агрегата выделяют два–четыре рядка, в которых подсчитывают общее количество растений и число засыпанных и имеющих механические повреждения. Подсчет проводят в пяти–шести местах на делянке.

При ширине междурядий 70, 60 и 45 см растения в рядках целесообразно подсчитывать соответственно на 14,3, 16,7, 22,2 м, так как в этом случае количество растений (в штуках) на указанных отрезках рядка будет соответствовать густоте стояния растений (в тысячах на 1 га). Выразив количество поврежденных растений в процентах к общему их количеству по учетной длине рядка, устанавливают поврежденность растений культиватором и трактором. Степень повреждения растений с учетом фазы их развития оценивают по пятибалльной шкале (табл. 16).

16. Шкала оценки степени повреждения растений

Повреждено растений, %		Оценка
при первой и второй обработках	при последующих обработках	
1	5	отлично (5)
1–3	5–10	хорошо (4)
3–5	10–15	удовлетворительно (3)
5–7	15–20	плохо (2)
7	20	очень плохо (1)

Определение пораженности растений вредителями и болезнями (см. в разделах «Вредители кормовой и сахарной свеклы», «Болезни корнеплодов»).

Ассимиляционную поверхность листьев свеклы рассчитывают умножением длины листа на его ширину и на коэффициент 0,76 (Н. И. Орловский, 1948). По данным Института генетики АН Белорусской ССР, для тетраплоидных сортов свеклы коэффициент равен 0,82, для триплоидных — 0,78.

Площадь листьев свеклы определяют обрисовыванием контуров листьев на бумаге и взвешиванием, а брюквы и турнепса — методом высечек. Для этого отбирают 3–5 корнеплодов с делянки, листья с растений обрывают и взвешивают, одновременно на 10 из них сверлом

определенного диаметра делают высечки. Зная вес и площадь высечек, а также общий вес листьев, рассчитывают общую площадь листьев всей пробы (S в m^2) (см. раздел «Многолетние травы»).

Динамику накопления сырой массы, сухого вещества и других питательных веществ определяют на растениях, взятых на неучетной части делянки. Пробы отбирают после смыкания листьев в междурядьях. Каждую пробу составляют из 8–10 растений. Во второй и последующие сроки отбора образцы берут через два–три растения от места предыдущего отбора. Пробы отбирают на всех повторностях опыта, а при необходимости уменьшения объема работы — не менее чем на двух несмежных повторностях.

Цветущность растений в процентах вычисляют от общего числа растений на делянке по мере появления этого признака. При каждом учете цветоносные стебли следует срезать на одну треть высоты, чтобы исключить их из последующего учета.

Изреженность посевов определяют в фазу полных всходов и перед уборкой. Существуют следующие категории оценки: изреженность отсутствует, незначительная (редкие пятна), сильная (при которой необходимо делать выключки).

Для определения в корнеплодах и листьях сухого вещества, сахара и других питательных веществ берут образец массой не менее 3–5 кг. От каждого корнеплода отделяют в пробу четвертую часть. Образец хорошо измельчают, а потом отбирают среднюю пробу массой 0,8–1,0 кг, которую фиксируют в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 20–30 мин. Затем пробу высушивают при температуре 50–60 °С до воздушно-сухого состояния, после чего ее хранят в стеклянных банках с притертой пробкой.

Физико-механические показатели определяют перед уборкой путем замера высоты корнеплодов над поверхностью почвы и глубины их залегания в почве. Степень отклонения корнеплодов от осевой линии ряда — путем натяжения шпагата по центру рядка и измерения расстояния от головки корнеплода до шпагата. Учет проводят в трех–пяти местах на 100 корнеплодах.

Уборка и учет урожая. Урожай корнеплодов определяют методом сплошного учета со всей площади делянки. Учитывают отдельно

корнеплоды и листья. При выпадах или неравномерном стоянии растений анализируют так называемый исправленный урожай. Если изреженность не является объективным следствием воздействия приемов, изучаемых в опыте, на нее вводят поправку. Если изреживание произошло перед уборкой, исправленный урожай рассчитывают умножением средней массы одного растения на число растений на делянке до изреживания. Если в течение всей вегетации делянка была изреженной, то урожай рассчитывают по формуле И. Ф. Деревецкого:

$$Y = \frac{X + X_1}{2X},$$

где Y – урожай с изреженной делянки без поправок на изреженность;

X – число растений на изреженной делянке;

X_1 – среднее число растений, сохранившихся на делянке.

При уборке корнеплодов определяют их качество. Для этого учитывают корни (дуплистые, треснувшие, больные, сильно поврежденные вредителями и болезнями) и структурный состав корнеплодов.

Затраты ручного труда на прорывке и уборке корнеплодов рассчитывают путем хронометрирования.

Качество обрезки листьев (высота черешков и их удельный вес к общей массе корнеплодов) устанавливают по 100 корнеплодам, взятым по диагонали делянки (участка).

Потери корнеплодов учитывают после работы корнеплодоуборочной машины. На участках выделяют площадки размерами 10–15 м² десятикратной повторности, собирают все целые корнеплоды и их части. Потерянные корнеплоды взвешивают и рассчитывают потери на 1 га по формуле:

$$A = \frac{B \cdot 10000}{Y},$$

где A – искомая величина, кг;

B – масса корнеплодов на учетной площадке, кг;

Y – размер учетной площадки, м².

Загрязненность корнеплодов определяют в навесках по 25–30 кг, которые разбирают и взвешивают отдельно: корнеплоды и почвенно-растительные остатки. При уборке в ненастную погоду, когда корнеплоды сильно загрязнены землей, их моют и высушивают. Загрязненность определяют по формуле:

$$Z_k = \frac{B - B_m}{B} \cdot 100,$$

где Z_k – искомая величина, %;

B – масса корнеплодов вместе с землей, кг;

B_m – масса чистых корнеплодов, кг.

Механические повреждения и повреждения вредителями и болезнями. Из средней пробы отбирают образцы (50–100 корнеплодов). Их разделяют на две фракции: корнеплоды с механическими повреждениями и корнеплоды, поврежденные вредителями. Зная их количество в каждой фракции, а также общее число корнеплодов, рассчитывают степень их повреждения.

1. Повреждения механические (Пм), %:

$$P_m = \frac{K_m}{K_o} \cdot 100,$$

где K_m – количество корнеплодов с механическими повреждениями;

K_o – общее количество корнеплодов, взятых для анализа.

2. Повреждения вредителями (Пв), %:

$$P_v = \frac{K_v}{K_o} \cdot 100,$$

где K_v – количество корнеплодов, поврежденных вредителями;

K_o – количество корнеплодов, взятых для анализа.

Лежкость корнеплодов определяют во время хранения. Для этого контрольные пробы для средних корнеплодов массой 10–12 кг, для крупных — 15–20 кг закладывают в специальные предварительно взвешенные сетки. На сетках должны быть бирки с номерами. Сетки помещают в середине закрома или бурта на трех уровнях по высоте: 0,75 м — 4 сетки, 1,5 м — 12 сеток (по 4 сетки в разных местах) и 2,5 м — 4 сетки. В таком же порядке закладывают следующие 20 сеток. Места размещения контрольных проб отмечают антеннами. После шестимесячного хранения сетки извлекают, освобождают от корнеплодов, определяют массу тары и корнеплодов. Затем определяют количество полноценных, заболевших, отход и ростки. Норму естественной убыли рассчитывают по разности массы корнеплодов в начале и по окончании срока хранения. Для определения естественной убыли берут корнеплоды, убранные в оптимальные сроки для данной зоны. Для хранения нельзя брать подвяленные, механически поврежденные и подмо-

роженные корнеплоды, а также загрязненные землей (свыше 5 % у кормовой свеклы, турнепса, моркови и 8 % у брюквы).

При закладке и после хранения в корнеплодах определяют содержание сухого вещества, сахара и других питательных веществ. Валовую, обменную энергию и кормовые единицы рассчитывают на основе данных по химическому составу (см. раздел «Агроэнергетическая оценка технологий и севооборотов»).

Затраты совокупной энергии на 1 га рассчитывают по технологическим картам.

11.5. Капустные культуры

Основная задача исследований по капустным культурам — определить наиболее продуктивные виды и сорта, разработать и усовершенствовать технологии возделывания, гарантирующие получение высоких и устойчивых урожаев зеленой массы и семян.

Фенологические наблюдения. Фенологические наблюдения за капустными культурами (яровой и озимый рапс, яровая и озимая сурепица, редька масличная, горчица) начинают после посева, дату которого заносят в полевой журнал.

Всходы отмечают при появлении на поверхности почвы развернувшихся семядольных листьев. Помимо всходов в течение вегетационного периода отмечают следующие фазы развития: бутонизация, цветение, зеленый стручок, желто-зеленый стручок и полное созревание.

По озимым капустным культурам, кроме того, отмечают даты прекращения осенней и начала весенней вегетации. За дату прекращения вегетации у озимой сурепицы принимают переход средней суточной температуры воздуха через +5 °С, у озимого рапса – через +2-5 °С. Время возобновления вегетации отмечают с начала отрастания листьев. За начало очередной фазы развития принимают наступление ее у 10 %, а полную — у 75 % растений на делянках двух несмежных повторностей опыта.

Уборочную спелость отмечают, когда растения приобретают желтовато-зеленую окраску, листья увядают и опадают, а семена в нижних стручках центральной ветви имеют свойственную сорту окраску.

Динамика влажности почвы по фазам развития. Влажность почвы определяют весовым методом в пробах, отобранных в трех местах делянки на глубину пахотного слоя. Пробы почвы для определения влажности берут в полевых условиях специальным почвенным буром, погружая его с помощью специальных меток на штанге на заданную глубину.

Густота стояния растений. От густоты стояния растений во многом зависит продуктивность и дружность созревания рапса. В связи с этим при постановке опытов изучают влияние применяемых приемов на полевую всхожесть семян, сохранность растений в процессе вегетации и их зимостойкость. Густоту стояния растений определяют на стационарных площадках с четным числом (1–8) рядков (три площадки по 0,25 м² на делянке на двух несмежных повторностях). Площадки выделяют после появления всходов. Их отмечают деревянными колышками, которые желательно окрасить в красный цвет (15 × 15 × 150 мм).

Количество растений на стационарных площадках подсчитывают в фазу трех–пяти настоящих листьев и перед созреванием, у озимого рапса также и перед уходом в зиму и после перезимовки.

Зимостойкость озимого рапса зависит от сорта и условий выращивания (подготовки почвы, удобрений, срока и нормы высева семян, погодных условий осени и весны и др.).

Перед уходом в зиму на посевах рапса проводят определение биометрических показателей, что позволяет прогнозировать степень подготовки растений к зимнему периоду. После прекращения вегетации по диагонали делянки у 20 растений на двух несмежных повторностях проводят подсчет числа листьев в розетке, измеряют высоту растений, диаметр корневой шейки и высоту точки роста.

Весной на стационарных площадках после схода снега и через две недели после начала вегетации подсчитывают количество сохранившихся растений. Для установления времени гибели рапса в период перезимовки дважды в январе и марте берут монолиты 25 × 30 × 25 см. Для сохранения и целостности монолитов с осени в установленных местах вбивают специальные металлические каркасы без дна или обсыпают опилками вокруг площадки, где намечается отбирать монолит. Местонахождение монолитов отмечают колышками высотой 1 м. Взятие проб

и подсчеты растений, определение причин гибели проводят в соответствии с методикой, изложенной в разделе «Многолетние травы».

В период вегетации озимые рапс и сурепица часто погибают в ранневесенний период после начала отрастания во время возврата холодов. Причиной их гибели является также поражение растений корневыми гнилями, снежной плесенью, выпирание и разрыв корней, а также слабое развитие растений перед уходом в зиму.

Динамика линейного роста растений. Для этого через каждые 5–7 дней измеряют высоту на 15–20 растений в двух несмежных повторностях.

Анализ структуры урожая. В фазе желто-зеленого стручка одновременно с подсчетом густоты стояния отбирают сноп, по 20 растений на двух несмежных повторностях опыта. По каждому растению учитывают следующие показатели: высоту, число ветвей первого и второго порядков, длину центральной кисти, число стручков на центральной кисти, их количество на растении, длину створки, ширину створки, число семян в стручке, общий вес необмолоченного снопа и чистых семян.

Высоту растений измеряют от корневой шейки до верхнего стручка в вытянутом положении. Ветви учитывают только плодоносящие; длину центральной кисти измеряют от места отхождения первой ветви до последнего стручка в вытянутом положении; стручки для анализа берут по одному с каждой центральной кисти растений (пятый снизу).

Учет урожайности семян капустных культур проводят методом сплошного обмолота с учетной площади делянок. Для уборки лучше пользоваться малогабаритным комбайном (типа «Сампо»). Обмолот проводят при уменьшенном числе оборотов молотильного барабана — 600–800 в мин, зазор в деке на входе — 22–35 мм и на выходе — 10–13 мм, частота оборотов вентилятора — 340–440 в мин.

При взвешивании семян отбирают средний образец для определения их засоренности, влажности и на химический анализ (1 кг семян). Для определения влажности семян с каждой повторности отбирают в бюксы по три навески семян массой 25–50 г, которые высушивают при 100–105 °С до постоянного веса. На химический и биохимический анализ с каждой повторности по вариантам опыта отбирают средний образец массой 1 кг; семена во избежание их плесневения высушивают в

сушильных шкафах при температуре не выше 35 °С, или на воздухе, перемешивая их несколько раз в день. Урожайность семян пересчитывают на влажность 12 %. Для оценки качества определяют массу 1000 семян (по всем повторностям), окраску, выравненность (путем фракционирования 1 кг семян на пробивных ситах размерами 1,0 мм, 1,7 мм, 2,0 мм). Фракции взвешивают и определяют долю каждой (в процентах к общему весу), проводят химический и биохимический анализы семян.

При проведении химического анализа в семенах определяют содержание сырого жира, протеина, клетчатки, золы, БЭВ и т. д.; при биохимическом анализе — наличие эруковой кислоты в масле, глюкозинолатов в семенах (Л. Н. Харченко и др. Получение метиловых эфиров жирных кислот с минимальным расходом метанола, 1985; «Глюкотест» ГОСТ 9824-87). Низкоэруковыми считаются сорта с содержанием эруковой кислоты 0 %. Максимально допустимым считается уровень глюкозинолатов в коммерческих сортах ярового рапса 15 микромоль/г. Сорта с низким содержанием глюкозинолатов и эруковой кислоты обозначаются «00».

11.6. Промежуточные культуры

Основной задачей исследований по промежуточным посевам кормовых культур является увеличение производства кормов с пашни на основе наиболее полного использования агроклиматических ресурсов, удобрений, плодородия почвы и других факторов. Такие посевы позволяют с одной площади вместо одного получить 2–3 урожая за год. Для решения этой задачи необходимо для конкретных почвенно-климатических условий установить наиболее рациональное сочетание основных и промежуточных культур, обеспечивающее максимальный сбор кормов.

По использованию агроклиматических ресурсов промежуточные посевы делятся на две группы: осенние и летние. В осенних посевах используют озимые и зимующие, в летних — ранние и поздние яровые культуры. Культуры осенней группы используют агроклиматические ресурсы в осенний и ранневесенний периоды, до посева основных культур в севообороте.

После уборки озимых промежуточных культур высевают основные, их часто называют поукосными культурами. Это правильно лишь в северных районах, где из-за короткого вегетационного периода озимые культуры являются основными и дают более высокий урожай кормовой массы, чем вторые, поукосные культуры. В южных районах озимые культуры на корм освобождают поля в апреле – начале мая. После их уборки возделывают основные культуры, которые по продуктивности превосходят озимые промежуточные и не отличаются от посева этих же культур по зяби.

Летние промежуточные посевы используют агроклиматические ресурсы в конце лета и осенью, после уборки основных культур. Если эти посевы проводят после скашивания ранних яровых культур на корм или многолетних трав, их называют поукосными, а после уборки зерновых колосовых и зернобобовых на зерно — пожнивными. К летним промежуточным посевам относятся и подсевные культуры, которые подсевают рано весной под покров основной культуры, убираемой на зерно или корм.

Принципы подбора основных и промежуточных культур по регионам Российской Федерации представлены в «Справочнике по кормопроизводству» (М., 2014. 375 с.).

При оценке основных культур, высеваемых после озимой промежуточной, контролем должен быть посев этих же культур в обычные ранневесенние сроки. Возделывание озимых промежуточных культур в сочетании с основными можно считать эффективным лишь тогда, когда продуктивность пашни за два урожая превосходит урожайность основной культуры весеннего срока сева (контрольный вариант).

Методика постановки полевых опытов с промежуточными культурами общепринятая для полевых культур.

Особенности возделывания культур в промежуточных посевах. Агротехника кормовых культур в промежуточных посевах в основном такая же, как и при обычных весенних посевах, но имеются и некоторые особенности. Нельзя допускать большого разрыва между уборкой основной культуры и посевом промежуточной. Он должен составлять не более двух–трех дней, за исключением специальных опытов по изучению сроков сева.

При летних сроках сева вследствие высоких температур и сокращения длины дня происходит ускоренное развитие короткодневных и замедляется развитие длиннодневных растений, в результате этого масса одного растения снижается или увеличивается. Полевая всхожесть культур в отдельные годы из-за недостатка влаги в почве и по другим причинам при летних сроках сева снижается. Поэтому норму высева семян в поукосных и пожнивных посевах увеличивают на 10–18 % по сравнению с весенними сроками.

Глубина заделки семян зависит от культуры и состояния почвы. Для мелкосемянных культур, таких как озимый и яровой рапс, редька масличная и горчица белая, она должна составлять не более 2,0 см. Семена бобовых и злаковых культур и их смесей на тяжелых по механическому составу почвах заделывают на глубину 3–4 см, на легких — 5–6 см. Обязательным приемом обработки почвы в промежуточных посевах является прикатывание, которое проводят перед посевом, а в отдельные годы при недостатке влаги и после посева, особенно для мелкосемянных культур.

Подсевные культуры высевают рано весной дисковой сеялкой поперек рядков озимых культур. При этом почва должна быть достаточно влажной, но не сырой, чтобы обеспечить хорошую заделку семян и быстрое их прорастание. При возделывании подсевных культур совместно с яровыми смешивать семена покровной и подсеваемой культур не следует, так как они различаются по размеру и глубине заделки в почву. После посева яровой зерновой культуры поле прикатывают и высевают подсевную культуру.

Нормы минеральных удобрений в зависимости от возделываемой культуры устанавливают, исходя из планируемой урожайности, выноса питательных веществ с урожаем, содержания доступных форм азота, фосфора и калия в почве. Фосфорные удобрения вносят один раз под первую культуру из расчета получения двух–трех урожаев, азотные и калийные — дробно под каждую культуру.

Учеты и наблюдения. Учитывая, что рост и развитие культур в промежуточных посевах проходят в иных условиях освещения, обеспеченности водой и пищей, чем при обычных весенних посевах, следует детально изучить влияние этих условий на биологические и морфологи-

ческие изменения в растениях, качество получаемого корма. Определяют динамику роста растений, накопления сухой и зеленой массы, облиственность, площадь листьев, интенсивность фотосинтеза.

Получение двух урожаев в год с одной площади требует большого расхода воды. Поэтому особое внимание уделяют изучению водного режима почвы. Влажность определяют в пахотном слое или в слоях 0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–60 см. Образцы почвы берут перед уборкой первой культуры, перед посевом второй, затем через каждые 10–15 дней до конца вегетации растений. Кроме того, определяют запасы влаги в почве в конце вегетационного периода и весной следующего года перед посевом последующих культур севооборота. Полученные данные сравнивают с контролем (без посева промежуточных культур). В опытах с подсевными культурами влажность почвы определяют по фазам вегетации растений, а также после скашивания покровной культуры.

Промежуточные посевы являются одним из способов борьбы с сорняками. Их уничтожают при дополнительной обработке почвы и при скашивании кормовой массы. Количество сорняков подсчитывают перед уборкой первой и в период полных всходов второй культуры. Методику определения засоренности посевов см. в разделе «Постановка опытов по борьбе с сорной растительностью».

В опытах с промежуточными посевами кормовых культур следует изучить их агротехническую роль: накопление корневых и пожнивных остатков, динамику элементов питания в почве (нитратов, легкогидролизуемого азота, фосфора, калия), агрегатный состав почвы.

При летних посевах кормовых культур нарушается сложившаяся взаимосвязь вредителей с растениями, что приводит к снижению повреждаемости посевов. Поэтому необходимо определить степень повреждения растений болезнями и вредителями (см. «Повреждаемость кормовых культур вредителями» и «Поражаемость кормовых культур болезнями»).

Учет урожая кормовых культур в промежуточных посевах проводят сплошным методом, путем взвешивания зеленой массы со всей учетной площади делянки. Выход сухого вещества определяют по пробным снопам. Перед уборкой измеряют высоту растений, облиственность, в смешанных посевах определяют ботанический состав по

пробному снопу. Перед уборкой отбирают смешанные образцы для химического анализа растений, которые фиксируют в сушильных шкафах при температуре 105 °С (см. раздел «Многолетние травы»).

Экономическую эффективность возделывания промежуточных культур определяют по сбору с гектара зеленой массы, сухого вещества, кормовых единиц и протеина в сумме за все укосы. Устанавливают себестоимость продукции, условно чистый доход и рентабельность. Все сравнения ведут с контрольными вариантами основной культуры.

Наряду с экономической, дается биоэнергетическая оценка возделывания промежуточных культур. Определяют выход валовой и обменной энергии с урожаем, затраты совокупной энергии при их возделывании. Возделывание промежуточных культур считается выгодным тогда, когда коэффициент энергетической эффективности больше единицы (выход обменной энергии с урожаем превышает затраты совокупной энергии на выращивание).

В засушливых условиях получение двух–трех урожаев в год с одной площади может привести к снижению влажности почвы и урожайности последующих культур в севообороте, поэтому необходимо проводить исследования по последствию таких посевов. Экономическую и биоэнергетическую оценку в этом случае определяют по сумме показателей за два года, по изучаемому варианту опыта и его влиянию на урожайность последующих культур севооборота.

Использование промежуточных культур на сидерат. Наряду с выращиванием промежуточных культур на кормовые цели следует проводить исследования по использованию их на зеленое удобрение.

Определяют наиболее рациональные сроки запашки сидерата, влияние его на продуктивность последующих культур севооборота и почвенное плодородие. Эффективность зеленого удобрения сравнивают как с внесением минеральных удобрений, так и органических удобрений.

При использовании промежуточных культур на сидерационные цели необходимо изучать процессы трансформации органического вещества и их влияние на биологические и физико-химические свойства почвы. В зеленых удобрениях определяют содержание сухого вещества,

зольность, содержание питательных веществ в надземной массе и корнях.

Особое внимание уделяют изучению азотного режима. После заделки зеленой массы содержание нитратного и аммиачного азота определяют в динамике через 5–10 дней, на второй культуре — по основным фазам развития. Образцы почвы для агрегатного анализа отбирают перед заделкой зеленой массы и в конце опыта.

Биологическую активность почвы измеряют подсчетом общего количества микроорганизмов или отдельных физиологических групп их (нитрифицирующие бактерии, целлюлозоразлагающие и др.). Наиболее достоверный показатель деятельности почвенных организмов — продуцирование ими углекислоты и учет выделяемого почвой углекислого газа.

12. МЕТОДИКА ОПЫТОВ ПО ЗАЩИТЕ ПОСЕВОВ ОТ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Основной задачей исследований является разработка эффективных способов снижения засоренности посевов и затрат на их проведение, уменьшение нагрузки химических средств на экосистемы, замена токсичных гербицидов на препараты с низкой токсичностью по отношению к теплокровным животным, замена гербицидов, устойчивых к разложению в почве и растениях, на быстро разлагающиеся с целью охраны окружающей среды и получения экологически чистой продукции.

Исследования проводят на фоне профилактических мероприятий, изучая отдельное действие агротехнических, механических и химических приемов, а также комплексного их применения.

Вегетационный и лабораторный методы исследований предназначены для изучения конкурентных взаимоотношений сорняков и кормовых растений, токсичности к ним гербицидов, влияния влажности и типа почвы на сорняки и культурные растения, для определения фитотоксичности гербицидов, влияния химических средств на микрофлору почвы, агрофизические свойства, биохимический состав растений, установления остаточного количества препаратов в продукции, скорости и глубины проникновения гербицидов в почву.

При решении этих и других вопросов целесообразно использовать почвенные культуры. В этом случае растения, выращиваемые в вегетационных сосудах, приближают по условиям питания и взаимоотношению растений в агрофитоценозе к естественным. Вид вегетационных сосудов выбирают исходя из целей исследований. Сосуды не должны различаться по массе более чем на 100 г, а по высоте и диаметру — более чем на 0,5 см. Почву для сосудов берут с пашни на глубину пахотного слоя, она должна быть типичной для данной зоны, однородной по составу и свойствам, без корней и пожнивных остатков. Перед набивкой почвы в сосуды отбирают ее образцы для определения влагоемкости, гигроскопической влаги, агрохимических показателей. Сосуды набивают почвой в течение одного дня. Перед набивкой на дно сосуда кладут кружок из марли. Затем укладывают дренаж (гравий, стекло, керамзит),

а поверх дренажа — марлевый кружок, который на 5–8 см шире сосуда. После этого в сосуд устанавливают стеклянную трубку на расстоянии 1–1,5 см от стенки. Подготовленную почву отвешивают по объему сосуда, затем высыпают в эмалированный таз, перемешивают, вносят удобрения, вновь перемешивают, после чего заполняют ею вегетационный сосуд. При заполнении сосуда почву уплотняют, затем вынимают слой почвы на глубину заделки семян, раскладывают равномерно семена по площади сосуда и заделывают выбранной почвой. Поверхность почвы засыпают кварцевым песком (около 200 г на сосуд). В сосуде диаметром 15–20 см оставляют 20–25 растений клевера или люцерны, 15–20 растений злаковых и других культур сплошного посева, 10–15 растений гороха, бобов и люпина, по одному растению кукурузы или кормовой свеклы. Число растений по сосудам в течение вегетации должно быть одинаковым.

Если схемой опыта предусмотрено внесение гербицидов по всходам кормовых растений, то их вносят пульверизатором в течение вегетации. Норму гербицида устанавливают исходя из площади вегетационного сосуда.

Полив растений проводят по массе до установленной для опыта оптимальной влажности.

В период вегетации проводят фенологические наблюдения и биометрические измерения.

Окончательное влияние гербицидов на кормовые растения и сорняки определяют при учете биомассы. Растения убирают в фазе полной спелости или во время полного проявления действия гербицидов (через 30 дней после обработки). Для этого их срезают ножницами у самой поверхности почвы, взвешивают, определяют структуру, убирают в пакеты и затем высушивают до воздушно-сухого состояния. После этого биомассу еще раз взвешивают, при необходимости обмолачивают. Заканчивают учет статистической обработкой полученных данных.

Полевой метод исследований. В основе полевого метода исследований лежит реакция опытных растений на изучаемые факторы в естественных почвенных и метеорологических условиях. Полевой метод позволяет получить количественную характеристику вредоносности сорняков по отношению к кормовым растениям, определить эффектив-

ность воздействия изучаемых приемов на продуктивность кормовых культур и качество полученной продукции.

В зависимости от длительности периода наблюдения за изменением засоренности различают однолетние или многолетние (длительные) полевые опыты. В однолетних опытах влияние изучаемых приемов учитывают только на одной культуре. В многолетних — действие приема учитывают в течение ряда лет на следующих одна за другой культурах. В них изучают как действие приема, примененного один раз, так и наложение одного или нескольких приемов за ряд лет, например, за звено или ротацию севооборота.

Выбор участка. Земельный участок должен быть типичным по видовому составу сорняков для региона, однородным по почвенным условиям и плодородию, выровненным по рельефу. Учет видового состава и количества сорняков проводят заранее на уравнительном посеве или в посевах предшествующей культуры. Особенно это необходимо делать, если в опыте применяют почвенные гербициды, чтобы подобрать их соответственно с чувствительностью преобладающих видов сорняков. Без предварительного учета численности и видового состава сорняков составлять схему опыта по применению почвенных гербицидов в довсходовый период нельзя, так как во время внесения почвенных гербицидов сорняки отсутствуют и видовой состав определить невозможно.

При довсходовом применении гербицидов особое внимание уделяют предпосевной обработке почвы, а при осеннем по зяби — качеству зяблевой вспашки. Глыбистая поверхность почвы снижает эффективность гербицидов, при опрыскивании гербициды оседают на крупных комочках почвы, которые пересыхают, таким образом, исключается контакт препарата с проростками сорняков. Кроме того, препарат разлагается солнечным светом и частично улетучивается.

Размер делянок. Если в опыте изучают малоизвестные химические вещества и нужно в первом приближении установить их фитотоксичность и избирательность к кормовым культурам и сорнякам, то делянки могут быть размером 10 м².

При изучении порогов вредоносности сорняков, целесообразности применения гербицидов на кормовых культурах, когда приходится под-

держивать заданный уровень засоренности в течение всей вегетации тщательной ручной прополкой, размер делянки должен составлять на культурах сплошного способа посева до 2 м², при посеве культур широко-рядным способом — до 10 м².

В агротехнических опытах, где необходимо установить влияние того или иного приема борьбы с сорняками на продуктивность кормовых культур, размер делянок устанавливают в пределах 50–200 м². Для установления минимального размера делянки обычно рекомендуется иметь на делянке кукурузы как минимум 60 растений, картофеля — 40–50; чем больше выращивается растений на единице площади, тем меньше площадь делянки.

Контроли. На кормовых культурах сплошного способа посева (многолетние и однолетние травы, зернобобовые и т. д.) в качестве контроля используют делянки с ручной прополкой и делянки без прополки. Сравнение изучаемого приема с контролем без прополки позволяет получить данные по его эффективности на снижение засоренности. При изучении довсходовых гербицидов контроль без прополки — единственный показатель для определения эффективности гербицидов, так как во время внесения гербицидов всходы сорняков отсутствуют, и определить исходную засоренность невозможно.

Для оценки воздействия изучаемого приема на урожайность кормовых культур в схему опыта вводят второй контроль, посеvy которого поддерживают без сорняков в течение вегетации. Отсутствие сорняков в посеve позволяет получить максимально возможный в этих условиях урожай и сравнить с ним действенность изучаемого приема.

На кормовых культурах, возделываемых при широко-рядном способе посева, вместо контроля без прополки применяют так называемый хозяйственный контроль, на котором сорняки не пропалывают, а проводятся только междурядные обработки. В этом случае влияние приема на сорняки определяют по их наличию в защитных зонах ряда. Вторым контролем с прополкой сорняков и междурядными обработками вводят для определения влияния приема на урожайность.

При изучении эффективности приема борьбы с сорняками в схему опыта можно вводить вариант, так называемый стандарт — лучший ре-

комендованный прием, позволяющий в сравнимых условиях оценить эффективность нового.

Способы внесения гербицидов. Эффективность гербицидов зависит от соблюдения нормы расхода, сроков и способов их внесения. Основным способом внесения — опрыскивание. Гербициды равномерно распределяют по обрабатываемой площади ранцевым или тракторным опрыскивателем.

Гранулированные гербициды вносят в почву в сухом виде отдельно или вместе с минеральными удобрениями.

Существуют следующие способы обработки гербицидами почвы и растений:

- сплошной, когда обрабатывают всю площадь делянки;
- ленточный (рядковый, локальный, полосной), когда обрабатывают защитную зону рядка шириной 30–40 см. Посевы этим способом обрабатывают одновременно с посевом или культивацией. При ленточном способе расход препарата на 1 га рассчитывают по формуле:

$$Нл = \frac{С \times Кс}{М},$$

где Нл – норма препарата при ленточном внесении, кг/га;

С – ширина обрабатываемой ленты, см;

Кс – норма препарата при сплошном внесении, кг/га;

М – ширина междурядий, см;

- направленный, когда опрыскивание проводят при высоте культурных растений 30–40 см с нанесением гербицида на нижнюю часть, при этом уничтожают низкорослые сорняки. Такой способ опрыскивания повышает избирательное действие гербицида.

Гербициды, проникающие в растение через корни, вносят в почву или до посева, перемешивая их с верхним слоем (допосевное внесение), или после посева на поверхность почвы до появления всходов культурных растений (довсходовое внесение).

Гербициды, которые проникают в растение через листья и стебли, вносят на вегетирующую поверхность растений путем опрыскивания, при этом для достижения полного смачивания растений в плотных травостоях следует увеличивать объем рабочего раствора.

Количество и размер учетных площадок при определении засоренности посевов зависит от степени засорения, характера распределения сорняков, а также от заданной точности исследований. Чем больше сорных растений на единице площади и равномернее их распределение, тем меньше потребуется площадок.

Количество учетных площадок устанавливают расчетным путем.

Размер учетных площадок зависит от способа посева. Наиболее удобна для учета сорняков площадка размером 0,25 м² (иногда по 1 м²). Форма площадки зависит от культуры и способа посева. При сплошном (рядовом) посеве форма площадки квадратная (50 × 50 см), при широко-рядном — прямоугольная, причем одна сторона прямоугольника должна соответствовать ширине междурядий. Рамки накладывают либо в междурядья, либо на рядок, который должен быть в середине площадки. При учете эффективности гербицидов, вносимых по вегетирующим сорнякам, площадки должны быть постоянными.

Учет засоренности посевов проводят в тот период, когда нарастание эффекта от применения гербицидов прекращается, и различия в засоренности по вариантам опыта становятся более заметными.

При изучении почвенных гербицидов первый учет засоренности проводят при массовом появлении всходов (примерно через 30 дней после внесения), второй — при максимальном нарастании вегетативной массы сорняков, обычно это совпадает с наступлением фазы цветения (через 50–60 дней после обработки), третий — перед уборкой.

При обработке посевов по всходам системными и контактными гербицидами исходную засоренность учитывают за 1–2 дня до обработки, а затем определяют эффективность через 15 дней после обработки контактными гербицидами (базагран, реглон и др.) и через 30 дней — системными.

В опытах с пропашными культурами и на паровых полях дополнительно проводят учеты сорняков перед агротехническими операциями (например, культивацией) и спустя 5–7 дней, чтобы вычленить влияние механической обработки на снижение засоренности.

Обычно проводят следующие виды учетов: количественный, весовой и количественно-весовой. Для более полной оценки того или иного приема используют количественно-весовой способ учета.

Количественный учет проводят по числу растений (стеблей) каждого вида сорных растений. При учете подсчитывают только здоровые, жизнеспособные растения.

Наиболее распространенный метод учета вегетирующих сорняков — проход по одной или двум диагоналям участка и наложение учетных рамок на типичных по засоренности площадках. При изучении гербицидов, применяемых по вегетирующим растениям, для определения исходной засоренности выделяют постоянные площадки, и последующие учеты проводят на них.

На участках, засоренных корневищными и корнеотпрысковыми сорняками, помимо количественного учета стеблей, определяют массу корневищ или корней этих растений.

Учет засоренности почвы органами вегетативного размножения сорняков проводят методами пробных площадок и вертикальных разрезов. Метод пробных площадок заключается в следующем. На каждой делянке выделяют пять площадок по 0,25 м². При очаговом засорении необходимо учитывать площадь и местоположение каждого очага, степень засоренности. При учете корневищ пырея ползучего делают канаву глубиной не менее 25 см. Почву снимают послойно через каждые 5 см. Из каждого слоя выделяют вегетативные органы сорняков и определяют их сырую и сухую массу, длину и количество почек в них.

Методом вертикального разреза определяют глубину горизонтального залегания корневищ и корней, на основе чего в дальнейшем устанавливают глубину лущения и вспашки для борьбы с корневищными сорняками. Чтобы произвести разрез, на месте очага делают канаву длиной 1 м и шириной 0,5 м. Боковую стенку разреза с одной стороны на глубину до 30 см делают отвесной и гладкой для удобного подсчета корневищ по слоям почвы. По краю траншеи прикладывают 100-сантиметровую линейку для учета расположения корневищ. Вторую короткую линейку передвигают по краю разреза и последовательно определяют место выхода каждого корневища от боковой стенки разреза и от поверхности. Каждый выход корневищ (живых и отмерших) заносят в соответствующем масштабе на миллиметровую бумагу под условным обозначением. Живые корневища имеют светлую окраску и на них за-

метны зачаточные (рудиментарные) листья, старые корневища черного цвета и на них нет зачаточных листьев.

Весовой учет сорняков чаще всего проводят на широкорядных посевах трав, где он дает более точные результаты, чем количественный их подсчет. Выполняют его путем ручной прополки с последующим взвешиванием сорняков со всей делянки или с нескольких междурядий.

Количественно-весовой метод применяется во всех исследованиях на постоянных учетных площадках, закрепленных в наиболее характерных по количеству и видовому составу местах. Подсчитывают общее количество сорняков того или иного вида, при этом отмечают фазу развития сорных растений. Во время второго учета сорняки срезают на уровне почвы, взвешивают, определяют сырую и абсолютно сухую массы.

Фенологические наблюдения за сорняками проводят в течение всей вегетации. При применении повсходовых гербицидов следят за состоянием тургора растений, изменением окраски и возможными ожогами после обработки и в последующие дни.

Некоторые особенности исследований по борьбе с сорняками в кормовых севооборотах. Исследования в севооборотах позволяют решать вопрос борьбы с сорняками комплексно, более приближенно к естественным условиям. Исследования проводят в продолжительных стационарных полевых опытах, поэтому системы удобрений, агротехнические мероприятия, сорта культур, ассортимент гербицидов выбирают с перспективой их применения ко времени завершения опыта.

Перед закладкой опыта проводят рекогносцировочный посев, по результатам которого определяют размер и форму делянок, число повторений, исходную засоренность посева, а также засоренность почвы жизнеспособными семенами и вегетативными зачатками сорняков.

Опыты по борьбе с сорняками в севооборотах закладывают двумя способами: в первом случае в натуре имеется три поля (клина), на каждом поле чередуются во времени все культуры севооборота; во втором — в первый год развертывают все культуры севооборота, и количество полей соответствует числу культур в севообороте. Каждый способ проведения исследований имеет свои преимущества и недостатки. При проведении опыта на трех полях ежегодно вводят одно поле, на котором

высевают первую культуру севооборота, то есть все культуры севооборота чередуются на каждом поле с разницей в один год. В качестве предшественника на втором и третьем полях высевают культуру, используемую в рекогносцировочном посеве. Это позволяет получить достоверные данные за три года по каждой культуре и в целом по севообороту, при этом сокращается число полей и объемы работы. Но при названном способе проведения исследований отсутствуют данные по продуктивности всех культур севооборота в первый год.

При развертывании в первый год всех культур севооборота число полей будет соответствовать числу культур в севообороте, то есть площадь под опытом и объем работы в 2–3 раза больше по сравнению с первым способом. В этом случае допускается методическая погрешность, которая состоит в том, что предшественник в первый год у всех культур один и тот же (культура в рекогносцировочном посеве). Поэтому полученные данные за первый год ротации севооборота являются предварительными.

При проведении исследований в кормовых севооборотах разрабатывают, как правило, комплексную систему борьбы с сорняками, включающую биологическое подавление сорняков путем чередования различных культур, применение агротехнических приемов в период основной и предпосевной обработок почвы, ухода за посевами, использование гербицидов. При составлении схемы исследований учитывают необходимость изучения и вычленения отдельных приемов, а также определение эффективности сочетания нескольких приемов путем наложения их во времени на разных культурах севооборота. Составить единую схему борьбы с сорняками в кормовых севооборотах для всех почвенно-климатических зон страны невозможно, так как видовой состав сорняков, набор культур, их чередование в севообороте различны и зависят от направления деятельности хозяйств, государственных заданий по производству продукции. Поэтому схемы опытов составляют с учетом указанных особенностей. Система применения гербицидов в кормовых севооборотах должна включать набор перспективных гербицидов с разным спектром токсического действия на различные виды сорняков, встречающихся в регионе. Применение одних и тех же гербицидов или разных, но с одинаковым фитотоксическим спектром дей-

ствия на сорняки, не обеспечит полного освобождения посевов от сорняков. Уничтожение чувствительных видов сорняков создает благоприятные условия для распространения устойчивых к этим гербицидам.

Особенность применения гербицидов в севооборотах состоит в том, что они должны иметь короткий период распада, ограниченный вегетационным периодом. Только на постоянных участках, где одну и ту же культуру, например кукурузу, возделывают в течение ряда лет, можно изучать гербициды, сохраняющие токсичность в почве в течение многих лет. При выборе гербицида для каждой культуры севооборота следует исходить из наличия преобладающих видов сорняков, их чувствительности к гербициду, устойчивости культуры к гербициду. Предусматривают также изучение последствий гербицидов, как при разовом, так и при ежегодном внесении на нескольких культурах севооборота. Основное внимание исследователей должно быть направлено на снижение гербицидной нагрузки на биоценозы путем уменьшения норм расхода, применения менее токсичных и быстроразлагающихся в условиях внешней среды препаратов. При этом учитывают остаточные количества гербицидов в растениях и почве, их влияние на окружающую среду.

13. МЕТОДИКА УЧЕТА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР ВРЕДИТЕЛЯМИ И БОЛЕЗНЯМИ

Специализация и интенсификация кормопроизводства на основе насыщения сельскохозяйственных угодий кормовыми культурами, освоение кормовых севооборотов и интенсивных технологий возделывания может вызвать существенные изменения в структуре и динамике численности вредителей и болезней растительных сообществ. Поэтому исследование распространенности и поражаемости агрофитоценозов в зависимости от изучаемых факторов имеет большое научное и практическое значение. Особенно актуальны такие исследования в длительных стационарных опытах по изучению систем кормопроизводства и севооборотов.

Учеты численности вредителей в посевах кормовых культур проводятся в соответствии с Методическими указаниями по защите кормовых культур от болезней, вредителей и сорняков (М., 1990), Методическими указаниями по оценке эффективности систем защиты сельскохозяйственных культур от болезней, вредителей и сорняков (М., 1979).

Учеты численности вредителей. По данным ВНИИ кормов (Н. С. Каравянский, Л. С. Антонова, Л. К. Мирошникова, 1987), на кормовых культурах обитает свыше 300 полезных и вредных видов насекомых. При формировании растительных сообществ кормовых культур длительного пользования важно сохранить природные популяции полезных насекомых, ограничивающих численность вредных видов. Основными доминирующими группировками энтомофагов на кормовых культурах являются жужелицы, стафилиниды, пауки, златоглазки, клопы, клещи, галлицы и другие. Для определения природных популяций энтомофагов можно пользоваться уровнем количественного соотношения хищника и жертвы.

Вредители кормовых культур условно делятся на многоядных и специализированных. К многоядным относятся насекомые, питающиеся растениями различных ботанических семейств. Наибольший вред посевам кормовых культур наносят щелкуны (проволочники), чернотелки (ложнопроволочники), совки (озимые и подгрызающие), огневки (луговой и стеблевой мотылек), саранчовые и другие.

Специализированные вредители питаются и повреждают определенные виды растений (шведская муха, свекловичные и крестоцветные блошки, свекловичная минирующая муха, клубеньковые, листовые и стеблевые долгоносики, гороховая и бобовая тля, рапсовый цветоед, тиуусы, клопы, злаковые мухи, стеблевые блохи и др.).

Исследования по изучению состава энтомофауны, повреждаемости культур целесообразно проводить в стационарных опытах с севооборотами или в производственных севооборотах. В специальных опытах проводят исследования по разработке комплекса мер по защите растений. В таких опытах с использованием ядохимикатов форма деланки должна быть близка к квадратной с целью более равномерного распределения вредных насекомых. Опытный участок необходимо располагать в отдалении от водоемов (не менее 200 м), жилых домов (до 100 м), животноводческих построек (25–30 м), проезжих дорог (20 м).

Многоядные вредители (проволочники, ложнопроволочники, озимая и подгрызающая совки). Численность почвообитающих насекомых учитывают в почвенных раскопках (25 × 25 см) на всех стадиях развития вредителей (личинки, гусеницы, куколки). Обычно учет вредителей проводят через 5, 10, 20 и 40 дней после применения приемов, а также после уборки урожая. Численность вредителей подсчитывают по слоям почвы 0–10, 10–20, 20–30 см. Жуков, личинок, гусениц замаривают в 4%-ном формалине или хлороформе. Весь собранный с деланки материал помещают в банку с этикеткой, на которой указывают вариант опыта, дату учета, культуру, севооборот и т. д.

Повреждаемость семян и всходов кукурузы проволочниками и другими почвообитающими вредителями определяют на 15–20-й день после посева, то есть в период учета полевой всхожести растений. С этой целью на широкорядных посевах просматривают по 200 растений с каждого варианта или по 50 растений с каждой деланки.

Повреждаемость корнеклубнеплодов (кормовая свекла, турнепс, брюква и др.) проволочниками учитывают перед уборкой. Для этого отбирают по 10 корней в 10 местах каждой деланки. Корнеплоды тщательно просматривают и классифицируют на неповрежденные (здоровые) и поврежденные, с одним отверстием, с двумя–пятью и большим числом ходов.

Повреждаемость злаковых трав подгрызающими совками учитывают в фазе кущения в восьми местах рядка (длиной 0,5 м) на каждой делянке. При этом подсчитывают поврежденные растения (стебель подгрызен выше узла кущения), погибшие (стебель перегрызен ниже узла кущения) и здоровые (неповрежденные), определяют процент гибели растений.

Шведские мухи. Повреждаемость кукурузы личинками шведских мух проявляется в фазе четырех–пяти листьев. Основные признаки повреждения следующие: усыхание центрального листа, гофрированность листьев, интенсивное кущение (появление пасынков) и т. д. Для определения повреждаемости растений шведскими мухами просматривают по пять растений в 20 местах делянки и подсчитывают процент поврежденных и неповрежденных растений. Отложенные шведскими мухами яйца и отродившиеся из них личинки учитывают путем осмотра 50 растений на 5-й, 10-й, 20-й день после применения химических средств. Отдельно учитывают живые и погибшие яйца и личинки.

Свекловичные блошки основной вред кормовой свекле наносят в период всходов. Для определения повреждаемости осматривают на каждой делянке всходы свеклы на 8–10 отрезках по 0,5 м длиной вдоль рядка посева. В пробах подсчитывают общее количество растений и растений, поврежденных блошками (слабо-, средне-, сильно- и погибшие). В случае полной гибели растений подсчитывают площадь, занятую ими. Второй учет по той же методике проводят, когда свекла достигнет фазы трех–четырех листьев. Этими учетами определяют продолжительность действия химических средств на блошек.

Свекловичная минирующая муха повреждает растения в фазе трех–четырех листьев и в более позднюю фазу. Свекловичная муха откладывает яйца на нижнюю сторону листа. Отложенные мухой яйца учитывают на 8–10 отрезках длиной 0,5 м на каждой делянке. Учет яйцекладки проводят до обработки ядохимикатами и после их применения на 1-й, 5-й, 10-й и 20-й день. Подсчитывают количество погибших и живых яиц и личинок на каждом растении. Повреждаемость растений личинками свекловичных мух оценивают по трехбалльной шкале: 1 – слабое повреждение (уничтожено до 25 % листовой поверхности); 2 –

среднее (листовая поверхность уничтожена на 25–50 %); 3 – сильное (уничтожено свыше 50 % листовой поверхности).

Клубеньковые долгоносики повреждают всходы кормовых бобов и вики. Особенно сильный вред бобовым культурам причиняет полосатый и серый щетинистый долгоносик. Жуки объедают листья растений, делая с краев овальные выгрызы. Всходы кормовых бобов и, особенно, вики сильно повреждаются насекомыми в сухую весну, при холодной погоде, когда растения растут медленно. Повреждаемость всходов бобовых культур оценивают по пятибалльной шкале: 1 – уничтожено до 10 % листовой поверхности, 2 – уничтожено до 30 % листовой поверхности, 3 – до 50 %, 4 – листья повреждены очень сильно (уничтожено до 75 % листовой площади), верхушечная почка уничтожена, основной стебель не растет, 5 – уничтожена вся надземная часть, конус нарастания погиб, растение не растет.

Весной на всходах бобовых культур на восьми пробных площадках размерами 25 × 25 см определяют численность жуков с пересчетом на 1 м². Осенью учитывают зимующий запас вредителей методом почвенных раскопок. Размеры площадки — 25 × 25 см на глубину до 30 см. Количество площадок на каждой делянке — 2–3, на варианте — 8.

Гороховая тля сильно повреждает вику. Заселенность растений гороховой тлей оценивают в фазу бутонизации и цветения. Для этого просматривают по 25 растений в каждой повторности опыта, с них осторожно стряхивают насекомых на лист бумаги и подсчитывают. Заселенность растений тлями дифференцируют по баллам: 1 – растения не заселены тлей, 2 – на растении насчитывается до 20 тлей (слабое заселение), 3 – на растении от 20 до 50 тлей (среднее заселение), 4 – на растении более 50 тлей (сильное заселение). Затем определяют средневзвешенный балл заселения растений тлей.

Бобовая тля вредит преимущественно кормовым бобам в фазу бутонизации и цветения. Заселенность растений бобовой тлей оценивают в фазу бутонизации–цветения. Для этой цели осматривают по 25 растений на каждой делянке. Заселенность растений тлями дифференцируют, по баллам: 1 – растение не заселено тлями; 2 – до 20 % растения покрыто тлями (слабое заселение), 3 – заселено около 50 % (среднее заселение), 4 – растение покрыто тлями более чем на 50 % (сильное

заселение). Затем определяют средневзвешенный балл заселения растения тлями.

Наибольший вред крестоцветным культурам (яровой и озимый рапс, сурепица, редька масличная, брюква и другие) наносят крестоцветные блошки (волнистая, светлоногая, выемчатая, синяя и другие) и рапсовый цветоед. В последние годы в связи с увеличением площадей масличных крестоцветных культур существенный вред посевам наносят рапсовый пилильщик, стеблевой капустный скрытнохоботник, семенной скрытнохоботник, капустная тля, бабочки белянки, капустная моль (табл. 17).

17. Экономические пороги вредоносности основных вредителей ярового рапса

Вредитель	Фаза развития культуры	Экономический порог вредоносности
Крестоцветные блошки	Всходы – два настоящих листа	20 шт. на 100 растений
Капустная моль	3–5 настоящих листьев	Две–три гусеницы на растение
		При заселении не менее 10 % растений
Капустная белянка	Всходы – образование розетки	Две–три гусеницы на растение
		При заселении не менее 10 % растений
Рапсовый пилильщик	Всходы – образование розетки	Одна–две ложногусеницы на растение
		При заселении не менее 10 % растений
Семенной скрытнохоботник	Бутонизация – цветение	Один жук на растение
Капустная тля	Цветение – после цветения	Две–три блошки/м ² по краю поля
Рапсовый цветоед	Образование сгустка бутонов – начало бутонизации	0,5–1 жук на растение
	Бутонизация – начало цветения	Два–три жука на растение

Крестоцветные блошки интенсивно повреждают молодые растения (фаза всходов) в сухой и жаркий период, когда растения задерживаются в росте. Численность жуков на делянках с высотой растений 10–15 см определяют методом кошения сачком. Для этого на делянке делают по 10–20 взмахов сачком до опрыскивания растений, на 5-й, 10-й, 20-й день после применения препаратов и на 5-й, 10-й день после появ-

ления всходов при инкрустации семян рогором, линданом, карбофураном, прометом, рапколом. При определении численности жуков кошени сачком лучше проводить в период их активного питания (между 11 и 13 ч). Насекомых учитывают также на растениях визуально по 10 растений в пяти местах делянки. Жуков, крестоцветных блох учитывают и с помощью рамки размерами 25 × 25 см по 3–4 рамки на делянке.

Повреждаемость растений блошками оценивают на 50 растениях каждой делянки по четырехбалльной шкале: 1 – неповрежденные растения, 2 – повреждено до 25 % листовой поверхности (слабая), 3 – повреждено от 25 до 50 % (средняя), 4 – повреждено от 50 до 100 листовой поверхности (сильная). Затем находят средневзвешенный балл повреждения: число одинаково поврежденных растений умножают на соответствующий балл оценки, все произведения складывают и делят на общее количество поврежденных растений.

Рапсовый цветоед повреждает у крестоцветных культур генеративные органы (цветки, тычинки, пестики, лепестки). Численность рапсового цветоеда и поврежденность им растений за вегетационный период учитывают 4 раза. Первый учет проводят в период позеленения бутонов. Для этой цели с 20 растений каждой делянки стряхивают в сачок жуков рапсового цветоеда. Второй учет проводят в период начала бутонизации. Для определения повреждаемости бутонов рапсовым цветоедом отбирают с разных ярусов растений по 25 побегов, осторожно срывают с них 150–200 бутонов и анализируют в лаборатории с помощью лупы на содержание в них яиц и личинок рапсового цветоеда. Третий учет проводят во время массового цветения и начала образования стручков. Методика учета такая же, что и во втором случае. Четвертый учет осуществляют в период созревания семян. Для этого отбирают по 20 стручков из разных ярусов растения в 10 местах каждой делянки и анализируют на зараженность генеративных органов личинками рапсового цветоеда.

На посевах многолетних бобовых трав значительные повреждения причиняют клеверные семяеды, клеверные стеблевые долгоносики, фитонемы, тихиусы, люцерновый клоп и другие вредители.

Клеверные долгоносики-семяеды повреждают семенные посевы, снижая урожайность семян на 20–30 %. Численность жуков клевер-

ного семяеда в травостое клевера определяют методом кошения сачком в фазу стеблевания и бутонизации. Для этого осуществляют 50 взмахов сачком. Учет проводят до применения химических средств и на 2-й, 3-й, 5-й и 10-й день после обработки. Поврежденные головки и завязи учитывают при побурении 55–60 % головок клевера. Для этого отбирают 100 головок клевера (по 10 головок в 10 местах делянки). В лаборатории их подвергают анализу. Головки клевера расщепляют и подсчитывают количество личинок и куколок в среднем на одну головку.

Количество яиц учитывают на 50 стеблях клевера, взятых равномерно с каждой делянки. Подсчитывают количество яиц при осмотре листовых и цветочных почек, а также головок.

Клеверные стеблевые долгоносики. Поражают стебли клевера преимущественно личинки. Учеты численности жуков стеблевых долгоносиков такие же, как и клеверных семяедов. Для выявления личинок стеблевых долгоносиков и определения пораженности ими клевера в середине июля анализируют 100 стеблей клевера, взятых равномерно с каждой делянки, устанавливают процент зараженных стеблей и плотность личинок на один стебель. Стебли вскрывают с помощью ланцета и препаровальной иглы в лабораторных условиях.

Клубеньковые долгоносики опасны в первый год жизни клевера. Жуки повреждают всходы клевера, личинки — клубеньки и корневую систему. Жуков учитывают в фазу всходов. На каждой делянке накладывают 8 рамок размерами 50 × 50 см. Подсчитывают жуков на поверхности почвы учетной площади и на растениях. Чтобы подсчитать количество вредителей на 1 м², количество обнаруженных вредителей делят на общую площадь всех площадок. Поврежденность всходов клевера учитывают по трехбалльной шкале: 1 – слабое повреждение (уничтожено меньше четверти листовой площади), 2 – среднее (уничтожено более четверти листовой поверхности), 3 – сильное повреждение (уничтожена половина и более листовой площади). Повреждаемость клубеньков личинками клубеньковых долгоносиков определяют при подсчете поврежденных клубеньков и личинок в почвенных пробах, взятых по длине рядка (0,5 м) в восьми местах делянки. Корни вместе с клубеньками отмывают в лаборатории водой и учитывают поврежденность клубеньков.

Одновременно с этим подсчитывают количество личинок в пробах и на 1 м².

Листовой люцерновый долгоносик (фитономус) сильный вред причиняет семенным посевам люцерны. Вред наносят как жуки, так и личинки насекомого. Личинки повреждают листья, ростовые цветочные почки, бутоны, вызывая замедление роста растений. Численность жуков и личинок фитономуса учитывают в фазу стеблевания и бутонизации кошением сачком (по 50 взмахов сачка на каждой делянке). Учет проводят до применения химических препаратов, затем на 2-й, 3-й, 4-й и 10-й день после их применения. Повреждаемость генеративных органов люцерны личинками фитономуса определяют на 100 стеблях, взятых равномерно на каждой делянке (по 10 стеблей в 10 местах). На каждом стебле учитывают поврежденность почек, бутонов и соцветий. Подсчитывают количество (в процентах) поврежденных растений.

Тихиусы. Вредят личинки насекомого семенам, выедая их содержимое. Численность жуков в посевах люцерны учитывают в период начала цветения и до уборки кошением сачком (40–50 взмахов сачком на каждой делянке). Поврежденность семян люцерны личинками тихиуса учитывают на 100 продуктивных стеблях. В 10 местах каждой делянки берут по 10 стеблей, снимают с них бобики и тщательно их перемешивают. Для анализа отбирают среднюю пробу из 500 бобов. В лаборатории их вскрывают и определяют процент повреждения бобов и количество личинок тихиуса.

Люцерновый клоп. Личинки клопов отрождаются в мае–июне. Их массовое появление совпадает с бутонизацией люцерны. Взрослые клопы появляются на люцерне в период цветения. Учитывают численность клопов в фазу стеблевания люцерны, бутонизации и полного цветения. Для этого делают по 50 взмахов сачком на каждой делянке. Поврежденность люцерны клопами определяют путем анализа 100 стеблей, взятых в фазах бутонизации и полного образования бобов. Для этих целей берут по 10 стеблей в 10 местах делянки. При этом подсчитывают количество пожелтевших и осыпавшихся генеративных органов.

Люцерновая толстоножка. Вредит семенам личинка насекомого. В период завязывания бобов определяют численность взрослых насекомых (имаго) методом кошения сачком. Для этого на каждой делянке де-

лают по 50 взмахов сачком. Для определения поврежденности семян толстоножкой берут в 10 местах делянки по 10 стеблей перед уборкой урожая. В лабораторных условиях со стеблей снимают бобы, перемешивают их и отбирают среднюю пробу из 500 бобов. Все семена просматривают под биноклем и определяют процент поврежденных. Характерный признак повреждения семян — отверстие на оболочке.

Злаковые травы (тимopheевка, овсяница, житняк и др.) повреждаются внутрестеблевыми насекомыми (злаковые мухи, стеблевые блохи и т. д.). Для определения степени повреждаемости злаковых трав личинками вредителей проводят два учета за вегетационный период: в фазу выхода растений в трубку и в фазу молочной спелости семян. При первом учете на каждой делянке необходимо по 8 площадок размерами 25 × 25 см. Пробы на участке отбирают равномерно, растения выкапывают и анализируют в лаборатории. Подсчитывают общее количество кустов в пробе, каждый куст просматривают отдельно. Вредителей учитывают в главном стебле (вскрывают его иглой) и только на тех придаточных стеблях, на которых заметно увядание центрального листа (пожелтение). При этом определяют количество поврежденных кустов, главных и придаточных стеблей (в процентах), а затем — обнаруженных в них личинок в пересчете на 1 м². Для второго учета на делянке также необходимы площадки размерами 25 × 25 см. После подсчета общего количества растений в пробе, анализируют стебли и колосья на поврежденность и зараженность вредителями. Подсчитывают количество стеблей и колосьев (в процентах), поврежденных вредителями, и запас личинок и пупариев на 1 м². Кроме того, определяют густоту растений и количество колосьев в среднем на 1 м² посева.

Взрослых мух на злаковых травах учитывают до обработки их ядохимикатами и на 1-й, 5-й, 10-й, 20-й день после обработки. Для этого в двух местах делянки проводят кошение — по 25 взмахов сачком.

Тимopheечные колосовые мухи. В фазу созревания семян тимopheевки проводят учеты на повреждаемость султанов личинками мух. Для этого анализируют 300 колосьев, взятых в 10 местах по 30 шт., и устанавливают количество неповрежденных султанов. При повреждении султанов на 20–25 % следует планировать защитные мероприятия.

Определение вредоносности вредителей. Эффективность приемов по борьбе с вредителями определяют по количеству погибших вредителей и по прибавке урожая. Оценку технической эффективности приемов проводят на основании результатов учета заселенности растений вредителями на опытных и контрольных делянках. Для этого учитывают численность яиц, личинок, взрослых насекомых на растениях перед и после проведения приема через 1, 5, 10, 20 и 30 дней. Сроки учета зависят от задачи и объекта исследования.

Гибель насекомых (С, %) определяют по формуле:

$$C = \frac{100 \cdot (A - B)}{A},$$

где А – численность насекомых до обработки;

В – численность насекомых после обработки.

Численность насекомых зависит не только от химических обработок, а также от других причин (уничтожение энтомофагами, паразитами, гибель от заболеваний и др.). Поэтому для точного определения технической эффективности применения ядохимикатов необходимо провести сравнение численности насекомых на обработанном участке и на контроле (на необработанном участке). Приняв гибель насекомых на обработанном участке А – В, а на контроле — а – в, определяют процент гибели насекомых на обработанном (С₁) и необработанном (С_х) участках:

$$C_1 = \frac{100 \cdot (A - B)}{A}, C_x = \frac{100 \cdot (a - b)}{a},$$

Гибель насекомых с поправкой на контроле составит:

$$C = \frac{100 \cdot (A - B)}{A} - \frac{100 \cdot (a - b)}{a} \text{ или } C = \frac{100 \cdot (Aa - Ba)}{Aa}.$$

Хозяйственную эффективность применения ядохимикатов оценивают по дополнительному урожаю, полученному за счет проведенных мероприятий по борьбе с вредителями.

Для оценки влияния видов севооборота, предшественников культур, системы удобрений, обработки почвы, новых технологий и других факторов на состав и динамику численности энтомофауны можно применять критерии, определяемые по соотношению общей численности и численности вредных насекомых по видам по сравнению контролем (К, %).

$$K = \frac{A_1}{A_2} \cdot 100,$$

где A_1 – общее количество вредных насекомых по видам на изучаемых вариантах, шт./м²;

A_2 – общее количество вредных насекомых по видам на контрольном варианте, шт./м².

Учеты поражаемости болезнями. При учете болезней многолетних трав устанавливают причины заболеваний, определяют распространенность, степень развития болезни и вредоносность заболевания. Наблюдения за поражением трав болезнями проводят в течение всего вегетационного периода. Учет пораженности приурочивают ко времени массового развития болезни и основным фенологическим фазам.

Первый учет пораженных растений проводят через две–три недели после начала отрастания или после появления всходов, когда признаки заболевания видны особенно четко. Перед учетом визуально оценивают общее состояние травостоя. Отмечают характер поражения (равномерно рассеянный или очаговый), а также число и площадь очагов.

Для анализа болезней, вызывающих гнили корней, выкапывают растения с 0,5 пог. м из двух смежных рядков в четырех местах делянки, в трех повторениях.

Болезни, поражающие вегетативные и генеративные органы растений (пятнистости, налеты, пустулы), учитывают в период массового их развития и по фазам вегетации растения. Пораженность определяют по 20 стеблям, взятым по диагонали в пяти местах делянки в трех повторениях опыта. Просматривают растения на корню или при анализе снопового образца. Если заболевание распространено крупными очагами, учет проводят на площадках по 0,25 м² в четырех местах делянки в трех повторениях. Осматривают растения, обмеряют очаги на каждой площадке. Очаговую гибель вычисляют в процентах, как отношение площади всех очагов к общей площади учетных площадок.

Общую гибель вычисляют как сумму очаговой гибели и изреживания. Распространенность болезни (Р) при равномерно рассеянном проявлении определяют по количеству больных растений или отдельных его органов (листьев, соцветий, корней) в процентах от общего числа обследованных растений:

$$P = \frac{n \cdot 100}{N},$$

где n – число больных растений в пробе;

N – общее число растений в пробе.

Подсчитав количество пораженных растений по повторностям, вычисляют средний процент по варианту.

13.1. Болезни кормовых культур

Многолетние бобовые культуры.

Фузариоз поражает растения всех возрастов. На проростках болезнь вызывает побурение подсемядольного колена и кончика корня. На растениях второго и последующих лет жизни фузариоз вызывает корневую гниль и увядание.

Интенсивность поражения корней наружной гнилью определяют по площади побурения коры корня, а внутренней гнилью — при поперечном разрезе главного корня по состоянию сосудистых пучков по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – слабое поражение, побурение охватывает до 25 % площади; 2 – среднее, побурению подвержено 26–50 % площади; 3 – сильное поражение, побуревшая часть занимает от 51 до 75 % площади; 4 – очень сильное поражение, побурение охватывает более 75 % площади.

Пораженность бобовых трав корневыми гнилями и увяданием на корню учитывают во время цветения по внешнему виду растений. Интенсивность поражения определяют по пятибалльной шкале: 0 – здоровое растение; 1 – листья верхнего и среднего яруса здоровые, нижние листья хлоротичные, буреют, увядают, поражено до 25 % листовой поверхности; 2 – листья верхнего яруса поникли, среднего яруса хлоротичные, скрученные, отдельные нижние листья буреют, увядают, поражено до 50 % листовой поверхности; 3 – верхняя часть растения поникла, листья хлоротичные и скрученные, листья среднего яруса сильно побурели, нижние засохли, поражено до 75 % листовой поверхности; 4 – растение увяло до самой верхушки, листья бурые, засохшие.

Рак, тифулез поражает растения клевера и люцерны. Пораженные растения учитывают на второй и в последующие годы жизни весной и осенью, одновременно с учетом на фузариоз.

Степень поражения определяют визуально по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – слабое поражение, растение отрастает нормально, на корневой шейке паутинистая грибница, побурение тканей слабое; 2 – среднее поражение, до 25 % листья бурые, на корневой шейке паутинистая грибница, побурение тканей выражено явно; 3 – сильное поражение, растение угнетено, плохо отрастает, до 50 % листьев бурые и засохшие, корневая шейка побуревшая, мягкая с темными склероциями, растение легко отрывается у корневой шейки; 4 – очень сильное поражение, растение не отрастает.

Антракноз, аскохитоз, бурая пятнистость, мучнистая роса, пероноспороз, ржавчина — болезни бобовых трав, проявляющиеся в виде налетов, пятнистостей, пустул, учитывают в фазе цветения, перед уборкой и в период массового развития болезней.

Интенсивность поражения клевера антракнозом и аскохитозом определяют по пятибалльной шкале: 0 – здоровое растение; 1 – едва заметные желтые пятна на стеблях и черешках; 2 – ясно выраженные желтовато-бурые пятна, иногда надломы на черешке; 3 – надломы на большинстве черешков, могут быть на стеблях боковых ветвей; 4 – надломы стебля, верхняя часть растения засыхает.

Для оценки пораженности пятнистостями бобовых трав используют пятибалльную шкалу: 0 – поражение отсутствует; 1 – поражены листья нижнего и частично среднего ярусов, пятна занимают не более 10 % поверхности; 2 – поражены листья нижнего и среднего, частично верхнего ярусов, пятна занимают 11–25 % поверхности; 3 – поражены листья всех ярусов, пятна занимают 26–50 % поверхности, хорошо заметна пятнистость стебля; 4 – пятна занимают свыше 50 % поверхности листьев, многие листья отмирают, на стебле поражения в виде сплошных полос.

Интенсивность поражения бобовых трав ржавчиной определяют по размеру пораженной площади листьев и стеблей по специальным шкалам (рис. 21, 22).

Корневые гнили поражают растения, начиная со всходов и до конца использования травостоя. У всходов возбудители болезни вызывают побурение coleoptиле, первичных корней, перетяжки на вторичных корнях.

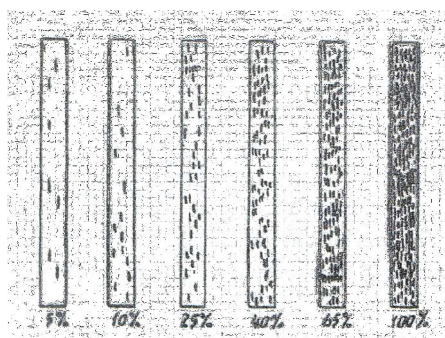


Рис. 21. Шкала для оценки поражения растений стеблевой ржавчиной

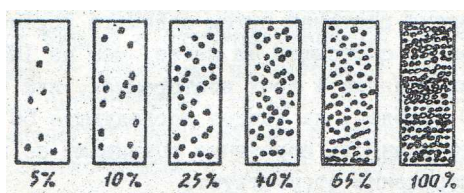


Рис. 22. Шкала для оценки поражения растений листовой ржавчиной

Поражение учитывают в период полных всходов путем выкапывания растения с 0,5 пог. м из двух смежных рядков в четырех местах делянки в трех повторениях или на 100 га берут 10 проб с 0,25 пог. м из двух смежных рядков, на каждые последующие 50 га добавляют одну пробу. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – здоровые проростки; 1 – слабое побурение основания проростка; 2 – сильное побурение; 3 – гибель проростка при выходе на поверхность; 4 – гибель проростка в момент прорастания семени.

Корневые гнили у растений первого года жизни вызывают побурение оснований стеблей, подземного междоузлия, темно-бурые пятна на стеблях и листьях нижнего яруса. Пробы на анализ поражения растений берут так же, как и при учете корневых гнилей всходов. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – слабое побурение основания стеблей или подземного междоузлия; 2 – их сильное побурение; 3 – сильное побурение подземных и надземных частей растения; 4 – погибшее растение.

Корневые гнили у растений второго и последующих лет жизни вызывают побурение основания стеблей, узла кущения, темно-бурые пятна на стеблях и листьях, белостебельчатость. Учет проводят по фазам развития растений путем подсчета пораженных стеблей в сноповом

образце, состоящем не менее чем из 100 стеблей, взятых в пяти местах делянки в трех повторениях, или на 100 га берут 20 проб по 10 стеблей, на каждые последующие 50 га добавляют по две пробы. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – слабое побурение основания стебля; 2 – его сильное побурение; 3 – сильное побурение основания стебля и белостебельчатость; 4 – гибель растения.

Снежная плесень поражает растения второго и последующих лет жизни. Сразу после схода снежного покрова на надземной массе растений образуется бело-розовый налет. Учет поражения проводят на площадках по 0,25 м² в пяти местах делянки в трех повторениях. Очаговую гибель вычисляют в процентах как отношение площади всех очагов к общей площади учетных площадок. Общую гибель рассчитывают как сумму очаговой гибели и изреживания.

При склеротиниозе и тифулезе на листьях и внутри стеблей растений второго и последующих лет жизни образуются беловатые, а затем черные склероции. Учет поражения проводят в весеннее отрастание растений, аналогично учету на поражение снежной плесенью, также проводят обмер очагов и расчет общей гибели растений.

Мучнистая роса поражает растения второго и последующих лет жизни. На листьях и листовых влагалищах образуется сначала белый налет, который со временем буреет и уплотняется. Учет поражения четырех верхних листьев проводят путем анализа растений в сноповом образце, взятом в период выхода в трубку, колошения, описанным выше способом (см. учет на поражение корневыми гнилями растений второго и последующих лет жизни). Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – поражено до 10 % поверхности листьев; 2 – поражено 11–25 %; 3 – поражено 26–50 %; 4 – поражено свыше 50 % поверхности листьев.

Пятнистости поражают растения первого и последующих лет жизни. На листьях и влагалищах появляются сначала хлоротические пятна, которые становятся бурыми с сетчатым рисунком (сетчатая пятнистость), темно-бурыми (темно-бурая пятнистость), темно-бурыми с серым центром (белая пятнистость), черными со светло-желтым ореолом (черная пятнистость), темно-серыми с буроватым ободком (серая

пятнистость), светло-бурыми с темной пурпурной широкой каймой (мелкая светло-бурая пятнистость), грязно-серыми с широкой красноватой каймой (окаймленная пятнистость). Учет поражения пятнистостями проводят по фазам развития растений по верхним двум или трем листьям в сноповом образце, который составляют описанным выше способом. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – поражено до 10 % поверхности листьев; 2 – поражено 11–25 %; 3 – поражено 26–50 %; 4 – поражено свыше 50 % поверхности листьев.

Ржавчина (разные виды) поражает растения второго и последующих лет жизни. Развивается на стеблях, листовых влагалищах, листьях, реже на соцветиях, образуя пятна: ржаво-бурые (линейная ржавчина); бурые на обеих сторонах листа (бурая листовая ржавчина); оранжевые, рассеянные по верхней стороне листа (корончатая ржавчина); желтые, вызывающие подсыхание листьев (желтая листовая ржавчина). Учет проводят по фазам развития растений, начиная со стеблевания. При раннем развитии болезни отмечают даты ее появления и засыхания листьев. Учет проводят на делянках с наиболее характерным по густоте стояния и высоте растений травостоем. Проходя по длинной стороне делянки на расстоянии 0,5 м от дорожки, через пять–шесть шагов просматривают 20 стеблей или на 100 га анализируют 20 проб по 20 стеблей, на каждые последующие 50 га добавляют по две пробы. Интенсивность поражения растений листовой и стеблевой ржавчиной определяют по соответствующим шкалам (см. рис. 21, 22). Степень поражения оценивают по количеству пустул. Каждую десятую долю, занятую уредопустулами, принимают условно за 10 % пораженной площади, а уредопустулы, расположенные в виде строчки в 1 см, — за 1 % пораженности. Вычисляют средний процент развития болезни по варианту. Распространенность болезни не учитывают.

Головня поражает растения первого и последующих лет жизни. На листьях и во влагалищах образуются короткие темно-серые вздутия, которые, сливаясь, образуют длинные полосы черного цвета (штриховидная и стеблевая головня); продолговатые, черно-бурые крупные пятна на стеблях, листовых влагалищах (пыльная головня). Проявляется болезнь в период стеблевания, выметывания, цветения. Учет проводят

при отборе снопового образца: захватывают, не выдергивая в горсть, по 20 стеблей в пяти местах делянки в каждой из двух несмежных повторностей. Интенсивность поражения определяют по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – поражено до 0,02 % метелок или колосьев; 2 – поражено 0,03–1 %; 3 – поражено 1–3 %; 4 – поражено более 3 % метелок или колосьев.

Спорынья поражает растения второго и последующих лет жизни, на соцветиях образуются капельки «медвяной росы». Учет проводят в цветение при отборе снопового образца, описанным выше способом. Интенсивность поражения определяют по трехбалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – поражено до 1 % колосьев или метелок; 2 – поражено более 1 % колосьев или метелок.

Чехловидная болезнь поражает травы второго и последующих лет жизни. Проявляется в виде плотного, сначала оранжевого, а затем бурого образования, покрывающего стебель растения и не дающего ему возможности выколашиваться. Учет проводят в фазе выхода в трубку на стационарных площадках. Определяют только распространенность болезни. Другие болезни злаковых трав учитывают при степени поражения растений не менее 10 % (распространенность не менее 3 %). При меньшем распространении болезней учет проводят только в двух наиболее пораженных вариантах.

Кукуруза. В опытах определяют наиболее вредоносные болезни кукурузы: пузырчатую головню, фузариоз, стеблевые и корневые гнили, плесневение семян, нигроспороз, диплодиоз, пятнистости.

Учет на поражение корневыми и стеблевыми гнилями проводят в фазу трех–четырёх листьев. Выкапывают по 10 растений из двух несмежных рядков в трехкратной повторности, учитывают процент и степень поражения проростков по трехбалльной шкале: 1 – побурение зародышевых корешков и части мезокотилея; 2 – побурение охватывает корешки, весь мезокотиль и первый подземный узел, но вторичные корешки развиваются; 3 – зародышевые корешки отмирают, побурение охватывает мезокотиль до выхода на поверхность или сразу же после их появления.

Пузырчатую головню учитывают, осматривая по 10 растений в 10 местах делянки в трехкратной повторности. Проявляется на почат-

ках, султанах, стеблях, репродуктивных почках в виде вздутий различной величины.

При учете болезней початков просматривают по 150 шт. в четырех местах бурта. Учет степени поражения трехбалльный: слабая – до пяти охваченных болезнью зерновок; средняя – до 20 зерновок; сильная – свыше 20 пораженных зерновок на початке.

Гельминтоспориоз. Первый учет пораженности проводят через 5 дней после появления болезни, второй — в период выбрасывания метелок, третий — в конце молочной спелости, осматривая пять растений подряд в десяти местах деланки в несмежных повторностях.

Поражение листьев кукурузы оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – на отдельных листьях единичные пятна, занимающие не более 10 % всей площади; 2 – пятна занимают от 10 до 25 %; 3 – пятна на листьях занимают от 26 до 50 %; 4 – пятна занимают свыше 50 % всей площади листьев, которые под влиянием болезни отмирают.

Ржавчину учитывают по шкале 2 (см. рис. 22).

Потери, вызванные различными болезнями кукурузы, рассчитывают по формулам, используя данные учетов пораженности болезнями.

Пузырчатая головня:

$$\Pi = 0,5 \frac{Ya}{K - a} + 0,15 \frac{Yб}{100 - \text{Пр}},$$

где У – полученный урожай, ц/га;

а – количество больных растений с поражением початка;

б – количество больных растений с поражением других органов при этом же учете;

К – количество учтенных растений.

Корневые и стеблевые гнили:

$$\Pi = 0,3 \frac{Y \cdot \text{Пр}}{100 - \text{Пр}},$$

где Пр – пораженность растений гнилями, %.

Гельминтоспориоз:

$$\Pi = K \frac{Y \cdot \text{Пр}}{100 - \text{Пр}},$$

где К – коэффициент, который равен при степени поражения более 50% – 1, 25–49 % – 0,8, менее 25 % – 0,3.

Кормовые корнеплоды.

Болезни кормовых корнеплодов учитывают во время всходов, в период вегетации и при уборке урожая.

Корнеед поражает всходы кормовых корнеплодов, вызывая побурение или почернение, кольцевой перехват подземной части проростков. Учет проводят отдельно по вариантам на втором и четвертом рядах каждой повторности перед букетировкой растений. С каждого ряда анализируют по 50 проростков. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – побурение охватывает не более 25 % длины корешка или имеются бурые полосы на корешке без образования перетяжки; 2 – пораженные участки составляют около 50 % длины корешка, побурение охватывает весь корешок, намечается перетяжка; 3 – поражено 75 % корешка, ткань темно-бурая, перетяжка ясно выражена; 4 – гибель проростка.

Ложная мучнистая роса (пероноспороз) поражает корнеплоды с фазы трех пар листьев, вызывая их скрученность краями вниз, утолщения листовой пластинки, листья приобретают хрупкость, бледно-зеленый цвет и покрываются с нижней стороны серовато-фиолетовым налетом. Учет проводят в пяти равноудаленных местах по диагонали делянки. Анализируют 50 растений, взятых в средних рядах по 10 растений в каждом, или на 100 га берут 10 проб по 50 растений в двух смежных рядах. На делянках до 25 м² учитывают 20 растений (по семь в трех рядах) во всех повторностях, при этом крайние рядки варианта из учетов исключают; интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражения нет; 1 – поражены или усохли единичные центральные листья розетки, количество которых не превышает 25 % всех листьев, или имеются пятна на отдельных листьях; 2 – поражено от 26 до 50 % всех листьев верхнего яруса розетки свеклы; 3 – поражены все листья верхнего яруса розетки свеклы; 4 – поражены все листья верхнего яруса, а также листья среднего яруса.

Мозаика поражает кормовые корнеплоды с фазы двух–трех пар листьев. На листьях появляются водянисто-прозрачные пятна различной величины и формы. Учет проводят путем анализа 20 проб по 10 растений в каждой, взятых в двух средних рядах несмежных повторностей. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – по-

ражения нет; 1 – мозаика не более чем на 25 % листьев верхнего яруса; 2 – мозаика у 50 % листьев; 3 – мозаика у 75 % листьев; 4 – поражены все листья верхнего и часть листьев среднего яруса.

Церкоспороз и другие пятнистости поражают растения во второй половине лета. На листьях появляются мелкие округлые пятна пепельного цвета с красно-бурой каймой. Учет проводят, проходя вдоль рядков трех несмежных повторностей, осматривая через каждые пять–шесть шагов листья растений на двух несмежных рядках. Всего просматривают не менее 20 растений в повторности. Интенсивность поражения оценивают по четырехбалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – на отдельных листьях единичные (до 10 %) подушечки, пятна или колонии налета; 2 – часть листьев (11–25 %) поражена, на листьях подушечки, пятна или налеты, которые можно подсчитать; 3 – значительная часть листьев (более 50 %) покрыта подушечками, пятнами или налетами, подсчитать которые невозможно, отдельные листья отмирают.

Мучнистая роса поражает растения с момента формирования корнеплодов, вызывая на листьях белый мучнистый налет. Учет проводят путем подсчета числа больных растений в двух средних рядках каждой несмежной повторности. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражения нет; 1 – поражено до 25 % листьев; 2 – поражено от 26 до 50 %; 3 – поражено от 51 до 75 %; 4 – поражено более 76 % листьев.

Ржавчина поражает растения во второй половине лета. Появление пустул и отмирание листьев происходит в период формирования корнеплодов. Учет проводят, анализируя 50 растений, взятых в пяти местах делянки в средних рядках. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – пустулы изредка встречаются на отдельных листьях; 2 – пустулы нечасто встречаются на большинстве листьев или густо покрывают только отдельные листья растения; 3 – болезнь охватывает все растение, около половины листьев густо покрыты пустулами, отмирают отдельные участки листьев; 4 – пустулы густо покрывают большинство листьев, отмирание листьев.

В период уборки свеклы учитывают пораженность ризоктониозом, бурой гнилью, фузариозом, туберкулезом и раком. Для этого на одной из повторностей с типичным стоянием растений отбирают пора-

женные корнеплоды, разделяют их по каждому виду болезни, взвешивают и рассчитывают в процентах к общей массе корнеплодов с делянки. При комплексном поражении корнеплода его учитывают при анализе по каждой болезни отдельно.

Вика.

Корневая гниль характеризуется побурением и загниванием корней и корневой шейки. У больных растений поникают верхушки и желтеют листья, а затем все растение бурее и засыхает.

Первое наблюдение за появлением и развитием болезни проводят в период всходов, второе — в период бутонизации и цветения, третье — перед уборкой урожая. По диагонали осматривают и выкапывают 10 растений в пяти местах делянки в двух несмежных повторениях. При учете пораженности и интенсивности развития корневой гнили, применяют следующую шкалу (в баллах): 0 — отсутствие видимых симптомов поражения корней; 1 — слегка обесцвеченные буроватые пятна на эпикотиле или на первичных и вторичных корнях; 2 — бурые или темно-коричневые сливающиеся пятна охватывают до половины поверхности корней; 3 — гниль охватывает большую часть корней, растения низкорослые; 4 — обширное поражение корней с разрушением ткани и отмиранием боковых корней, низкорослость растения, резкое снижение его продуктивности или гибель.

Аскохитоз, антракноз, пероноспороз, ржавчина — болезни, поражающие листья, стебли, бобы в виде налетов, пятнистостей, пустул, учитывают в фазе цветения, перед уборкой.

Для оценки пораженности пятнистостями используют пятибалльную шкалу: 0 — поражение отсутствует; 1 — поражены листья нижнего и частично среднего ярусов, пятна занимают не более 10 % поверхности; 2 — поражены листья нижнего, среднего и частично верхнего ярусов, пятна занимают 11–25 % поверхности; 3 — поражены листья всех ярусов, пятна занимают 26–50 % поверхности, хорошо заметна пятнистость стебля; 4 — пятна занимают свыше 50 % поверхности листьев. Многие листья отмирают, на стебле — поражения в виде сплошных полос.

Поражение растений ржавчиной учитывают по шкале (см. рис. 22).

Крестоцветные культуры.

Черная ножка поражает всходы, вызывая побурение и загнивание корневой шейки. Учет проводят в период появления полных всходов путем выкапывания растений с 0,5 пог. м с двух смежных рядков. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – поражение отсутствует; 1 – на корешке заметны бурые полосы; 2 – начало образования перетяжки корешка; 3 – перетяжка охватывает более половины корешка; 4 – гибель ростка.

Ложная мучнистая роса, мучнистая роса поражает растения в фазу четырех–шести листьев. Возбудитель ложной мучнистой росы вызывает пожелтение листьев с образованием фиолетового налета с нижней стороны листа. Мучнистая роса проявляется в виде белого или желто-серого, налета на листьях и стеблях. Учет проводят в фазу четырех–шести листьев путем анализа 10 проб по 50 растений в каждой. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – здоровые растения; 1 – пораженные листья составляют не более 10 % всей надземной массы; 2 – пораженные листья составляют 11–25 % всей надземной массы; 3 – пораженные листья составляют около 50 % всей надземной массы; 4 – пораженные листья и побеги составляют более 50 % всей надземной массы.

Альтернариоз проявляется перед уборкой в виде бурых пятен с густым черным налетом на стручках и стеблях. Учет поражения растений проводят путем анализа 10 растений, взятых в 10 местах делянки. Интенсивность поражения оценивают по пятибалльной шкале: 0 – отсутствие поражения; 1 – поражено до 10 поверхности стручков; 2 – поражено 11–25 %; 3 – поражено 26–50 %; 4 – поражено свыше 50 % поверхности стручков.

В зависимости от характера поражения травостоя, способа посева, площади делянки, вида растения и фазы его развития осмотру и учету подвергают разное количество растений. При равномерно-рассеянном проявлении болезни при посеве культуры широкорядным или квадратно-гнездовым способом на делянке 100 м² пораженность растений определяют во все фазы развития по отобранному подряд 10 растениям, взятым в пяти равноудаленных местах делянки, отступая 0,5 м от границы. При сплошном рядовом посеве пораженность определяют в фазе

всходов однолетних или в начале весеннего отрастания многолетних культур по 20 растениям в пяти местах делянки на двух несмежных повторностях. В пробу отбирают отдельные растения с отрезков (0,5–1 пог. м) рядков или с учетных площадок (0,25 м²).

При неравномерном распространении болезни учет проводят в четырехкратной повторности, анализируя 200 растений в варианте. В каждой пробе растения группируют на здоровые и больные. Среди больных учитывают пораженные каждой болезнью отдельно, выделяя при этом сильно пораженные растения.

Для учета болезней, снижающих семенную продуктивность, отбирают по 10 стручков, головок, кистей с разных растений в пяти местах делянки в двух несмежных повторностях. Подсчитывают количество здоровых и пораженных органов, затем вычисляют процент больных.

Основными показателями учета болезней растений служат распространенность (частота встречаемости) и степень поражения (развитие болезни).

Распространенность болезни (Р), или количество больных растений (или органов), выраженное в процентах от общего числа учтенных растений, вычисляют по формуле:

$$P = \frac{n \cdot 100}{N},$$

где n – количество больных растений в пробе;

N – общее количество растений в пробе.

Подсчитав количество пораженных растений по повторностям, вычисляют средний процент по варианту.

В некоторых случаях для характеристики проявления болезни достаточно одного показателя распространенности. Это относится к болезням, которые вызывают гибель всходов и растений (гнили корней, увядание, склеротиниоз и др.). Но значительная часть болезней приводит к снижению урожая в зависимости от степени (интенсивности) поражения растений. При этом эффективность приемов по повышению устойчивости растений к болезням определяют по интенсивности поражения, при сопоставлении интенсивности поражения, а также при сопоставлении интенсивности и распространенности.

Степень поражения служит качественным показателем патологического процесса: определяют при осмотре растений на корню по площади органов, покрытых пятнами, налетами, пустулами. Для оценки степени проявления болезни используют глазомерные шкалы, специфичные для ряда заболеваний или определяют процент поверхности пораженной ткани (органа) растения. Для большинства болезней степень поражения определяют, проставляя общую оценку пораженности в баллах на учетной площадке (без отбора проб).

В ряде случаев используют комбинированные шкалы учета, отражающие количественные и качественные показатели развития патологического процесса. Так, при поражении многолетних трав антракнозом, анализируют стебли, взятые из снопового образца, предназначенного для определения урожая сена. Сразу же после взвешивания сырой массы отбирают подряд 100 стеблей, тщательно их осматривают и подсчитывают количество пораженных по каждому баллу.

Если одно и то же растение поражено несколькими болезнями, то его учитывают и записывают по каждому заболеванию отдельно.

Интенсивность болезни в баллах (R) определяют по формуле:

$$R = \frac{\sum (n_1 v_1 + \dots + n_n v_n)}{N},$$

где $\sum (n_1 v_1 + \dots + n_n v_n)$ – сумма произведений числа растений на соответствующий им балл поражения;

N – общее количество учитываемых растений (здоровых и больных).

По степени поражения растений в баллах определяют развитие болезни в процентах (P_b) по формуле:

$$P_b = \frac{\sum (n_1 v_1 + \dots + n_n v_n)}{N \cdot k},$$

где $\sum (n_1 v_1 + \dots + n_n v_n)$ – сумма произведений числа растений на соответствующий им балл поражения;

N – общее количество растений в пробе;

k – высший балл шкалы учета для перевода балльной оценки в процентную категорию.

Степень вредоносности определяется по уровню снижения продуктивности (сухое вещество, кормовые единицы, обменная энергия) и качества растительного сырья.

$$K = \frac{(a - b) \cdot 100}{a},$$

где К – коэффициент вредности;
а – продуктивность здоровых растений;
в – продуктивность пораженных растений.

После математической обработки полученных результатов и их сопоставления с контролем делают заключение об эффективности исследуемого приема.

14. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ

Использование пестицидов в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями, болезнями и сорняками требует систематического контроля пищевых продуктов, фуража, почвы и воды на содержание в них остаточных количеств препаратов.

В настоящее время для определения остаточных количеств пестицидов широко применяют хроматографические (газожидкостная, тонкослойная, высокоэффективная жидкостная колоночная, ионообменная хроматографии), спектроскопические и электрохимические методы.

Схема проведения анализа микроколичеств пестицидов в почве, растениях и кормах включает следующие этапы:

Отбор проб:

- извлечение пестицида из анализируемой пробы, концентрирование;
- отделение сопутствующих примесей;
- идентификация и количественное определение.

Отбор растительных образцов. Вегетирующие растения отбирают по фазам их развития 3–4 раза за сезон и в период уборки урожая. В зависимости от цели исследований растения отбирают вместе с корневой системой либо их надземную массу. Пробы вегетирующих растений отбирают по диагонали участка в 7–10 точках по двум смежным сторонам в трех–четыре точки, расположенных по всей длине стороны. Отбирают исходный образец массой 0,5–1,0 кг. Для небольших по площади участков исходный образец одновременно является средним.

Анализ растений на содержание в них остатков пестицидов проводят немедленно после срезания. Для кратковременного хранения образцов от нескольких часов до 3 суток их помещают в холодильник. В тех случаях, когда анализ не может быть проведен в течение указанного срока, берут по две навески из каждого образца, проводят экстракцию растворителем согласно методу определения. Полученные экстракты хранят в холодильнике при температуре не выше 2–4 °С. Время хранения зависит от природы пестицида: фосфорорганические — не больше 5 суток, хлорорганические — 10 суток.

Отбор почвенных образцов проводят не менее шести раз за вегетацию: фоновые пробы (перед обработкой), затем четырехкратно в период вегетации растений, при этом последний раз пробу берут в период уборки. Для составления исходного образца буром по диагонали участка делают 25–30 выемок. В зависимости от поставленной задачи образцы почвы при определении в ней остатков пестицидов следует брать на глубине 0–5, 0–10 и 0–20 см. Все выемки с одной и той же глубины объединяют, тщательно перемешивают и методом квартования отбирают образец массой 400–500 г.

Определение пестицидов проводят по рекомендованным методикам, утвержденным Госкомиссией по химическим средствам борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками, методами тонкослойной и газожидкостной хроматографии. Метод газожидкостной хроматографии применяют для определения пестицидов (хлорорганические, фосфорорганические, 2,4-Д, сим-триазины и др.) с использованием высокотемпературных жидких фаз (SE-30, ОУ-17, ХЕ-60 и др.), нанесенных на твердый носитель (хроматон, хромасорб и др.), который промыт кислотой и силанизирован. Селективность (избирательность) детектирования достигается как при использовании селективных детекторов (электронно-захватный, термоионный и др.), так и при дополнительной химической обработке экстрактов концентрированной серной кислотой, раствором соляной кислоты, спиртовой щелочи и т. п. Для подтверждения идентичности пиков на хроматограммах относимых к тому или иному загрязняющему веществу, следует вести хроматографирование на двух колонках, заполненных твердым носителем с неполярной (SE-30, ДС-200) и полярной фазами (ХЕ-60, QF-1, ПДЭГС) или с фазой средней полярности (ОУ-17, SF-96 + QF-1).

Биологический способ определения остаточных количеств гербицидов в почве. Химические методы определения остаточных количеств гербицидов в почве достаточно точные, но дорогостоящие, трудоемкие, требуют особой подготовки и очистки анализируемых образцов от примесей, дорогого оборудования, дефицитных реактивов и химически чистого действующего вещества.

Существует другой метод определения остаточных количеств почвенных гербицидов — биологический, который также имеет пре-

имущества и недостатки по сравнению с химическим. К преимуществам этого метода следует отнести простоту, дешевизну, он не требует дорогостоящих приборов и реактивов. Биологический метод, как качественный, обычно точнее химического, при этом уступает в количественном отношении и требует тщательного подбора наиболее чувствительных культур (биотеста) для каждого гербицида.

Для установления содержания гербицида в почве с обработанных участков отбирают пробы с определенной глубины в соответствии с задачами исследований. Чаще всего отбор почвенных проб проводят на всех делянках с глубины 0–10 и 10–20 см. Количество взятой почвы с каждой делянки должно быть достаточным для набивки вегетационного сосуда. Затем отобранную почву тщательно перемешивают и пропускают через сито с отверстиями 0,5–1,0 см. Сосуды набивают по весу одинаковым количеством почвы и высевают равное число чувствительных растений-индикаторов. Одновременно набивают сосуды почвой, аналогичной испытуемой по физико-химическим свойствам, чаще всего с того же поля, но с контрольных участков, на которых гербициды не вносили. Перед набивкой сосудов в эту почву добавляют различные дозы определяемого гербицида и высевают такое же количество растений-индикаторов. В вегетационных сосудах поддерживают постоянную влажность почвы на уровне 60–70 % от полной влагоемкости почвы.

После того как токсическое действие гербицида на растения-индикаторы проявится полностью, проводят учет и уборку растений в каждом сосуде. Массу убранных растений со шкалы наносят на номограмму (в процентах от массы растений с необработанных гербицидами сосудов) и полученные точки соединяют, то есть получают корреляционную линию. По номограмме определяют содержание гербицида по вариантам в изучаемых образцах почвы. Для этого массу растений из сосудов с опытных делянок (в процентах от массы растений со шкалы) наносят на линию номограммы и, опустив перпендикуляр на ось вниз, получают относительное содержание гербицида в почве в миллиграммах на 1 кг почвы.

15. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объективность и достоверность результатов являются важнейшими требованиями научно-исследовательской работы. Основным методом анализа достоверности является математическая статистика, основанная на теории нормального распределения случайных чисел (теория вероятности), позволяющая оценивать переменные показатели генеральной совокупности изучаемых объектов посредством анализа ее частей — выборочной совокупности или выборки. Основной задачей статистического анализа является определение соответствия между возможными параметрами генеральной и выборочной совокупности случайных величин. В агрономических исследованиях в основу статистического анализа положен закон нормального распределения случайных чисел генеральной совокупности изучаемых объектов. Теоретические и практические основы статистического анализа биологических объектов изложены в специальных работах отечественных и зарубежных исследователей (Р. А. Фишер, 1958; Дж. Уишарт, Г. Сандерс, 1958; Дж. У. Снедекор, 1961; В. Г. Вольф, 1966; Б. А. Доспехов, 1972; В. В. Глуховцев, В. Г. Кириченко, С. Н. Зудилин, 2005 и другие).

Генеральная совокупность — вся группа объектов, подлежащая изучению (количество растений, их морфобиологические свойства, продуктивность, качественные показатели, сорняки, вредители и т. д.). В количественном отношении генеральная совокупность всегда стремится к бесконечности ($n \rightarrow \infty$). В практическом отношении получить количественные и качественные параметры генеральной совокупности невозможно. Поэтому генеральную совокупность оценивают по научно обоснованным выборкам, используя при этом значения ошибок репрезентативности (соответствие параметрам выборки параметрам генеральной совокупности).

Выборочная совокупность — часть генеральной, по статистическим показателям которой можно наиболее точно дать характеристику всей совокупности объектов. Отбор определенного числа элементов генеральной совокупности проводится по строго заданным правилам.

Основным фактором, определяющим объем выборки, является изменчивость изучаемых признаков и свойств.

В научных исследованиях объем изучаемой выборочной совокупности должен обеспечивать объективность и достоверность полученных результатов при наименьших затратах труда и средств.

В природных условиях количественным и качественным признакам изучаемых объектов свойственна изменчивость или варьирование. Количественные признаки имеют числовые выражения (масса, высота, число побегов, зерен и т. д.); качественные признаки определяются по внешнему виду и ощущениям (цвет, форма, вкус, габитус и т. д.).

Возможные значения варьирующего признака (x) называют вариантами ($x_1, x_2, x_3 \dots x_n$). Упорядоченное расположение вариантов в порядке возрастания или убывания называют ранжированием; количество повторяющихся признаков каждого вариационного ряда — частота признака (f), сумма всех частот ($\sum f$) равна объему выборки (n).

При статистическом анализе вариационного ряда применяются следующие обозначения показателей выборки:

N — объем генеральной совокупности (число входящих в нее единиц);

n — объем выборки (число обследованных единиц);

η — генеральная средняя (среднее значение признака в генеральной совокупности);

\bar{X} — выборочная средняя;

P — степень вероятности;

t — коэффициент доверия;

p — генеральная доля (доля единиц, обладавших данным значением признака в общем числе единиц генеральной совокупности);

w — выборочная доля;

σ^2 — генеральная дисперсия (дисперсия признака в генеральной совокупности);

S^2 — выборочная дисперсия;

σ — среднее квадратическое отклонение в генеральной совокупности;

S — среднее квадратическое отклонение в выборке;

μ — средняя ошибка выборки;

Δ — предельная ошибка выборки;

γ – число степеней свободы;

f – частота признака;

ℓ – размер смещения;

V – коэффициент вариации.

Выборочная и генеральная совокупность различаются определенными величинами, которые называются ошибкой выборки. Величина ошибки выборки включает ошибки регистрации и ошибки репрезентативности (представительности целого).

Ошибки регистрации возникают из-за несовершенства измерительных приборов, недостаточной квалификации наблюдателя, недостаточности подсчетов.

Ошибки репрезентативности присутствуют только при несплошном наблюдении и представляют собой разницу между значением показателя, полученного при выборке, и генеральным параметром. Ошибки репрезентативности могут быть систематическими и случайными. **Систематические (тенденциозные) ошибки** могут возникать из-за нарушения основного принципа выборки — принципа случайности. **Случайные ошибки** возникают из-за недостаточно равномерного представления в выборочной совокупности различных категорий единой генеральной совокупности.

15.1. Нормальное распределение случайных чисел

Нормальное распределение определяет строгую математическую вероятную связь величины одной из переменных с большим количеством чисел одного явления. Сумма большого количества независимых или слабозависимых величин, каждая из которых вносит весьма малый вклад в общую сумму, подчиняется нормальному распределению или распределению Гаусса. Суть нормального распределения сводится к следующему: все величины случайных или слабосвязанных чисел группируются в определенном соотношении около средней вероятной величины всей совокупности. В агрономических и других исследованиях нормальное распределение чисел проявляется уже при количестве измерений > 30 .

Нормальное распределение является только одним из многих изученных в математической статистике распределений, то есть представляет собой частный случай. Вместе с тем для обработки данных полевых опытов в агрономии нормальное распределение является основным, поскольку варьирование урожайности и других биометрических параметров довольно хорошо соответствует этому виду распределения.

Нормальное распределение проявляется при большом количестве наблюдений, а в идеальном случае — при количестве наблюдений, стремящемся к бесконечности ($n \rightarrow \infty$). Обычно при построении вариационного ряда в порядке возрастания случайных или слабосвязанных случайных величин функция их распределения описывается формулой:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\bar{n}}} \int_{-\infty}^x \cdot \ell - \frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2} \cdot dt.$$

Основными показателями нормального распределения является математическое ожидание (средняя величина) — μ и стандартное отклонение — σ . Показатель μ определяет центр распределения; σ характеризует разброс значений переменной (x) около центра.

Плотность распределения вероятности случайных величин описывается следующей формулой:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\bar{n}}} \cdot \ell - \frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2},$$

где μ — математическое ожидание (генеральная средняя);

σ — стандартное отклонение генеральной совокупности при $n \rightarrow \infty$

\bar{n} — константа $\approx 3,14$;

ℓ — константа $\approx 2,72$.

Нормальное распределение случайной величины с параметрами $\mu = 0$ и $\sigma = 1$ называется стандартным или нормированным, а соответствующая кривая — стандартной или нормированной.

Графики функции распределения и плотности распределения случайной величины имеют следующий вид (рис. 23).

График плотности распределения определяется показателями μ и σ . При изменении величины математического ожидания кривая μ будет

смещаться вдоль оси Ox . При увеличении показателя стандартного отклонения плотность уменьшается, при уменьшении увеличивается. В соответствии с этими изменениями график плотности будет приобретать пологую или иглообразную форму (рис. 24).



Рис. 23. Графики функции и плотности распределения непрерывной случайной величины

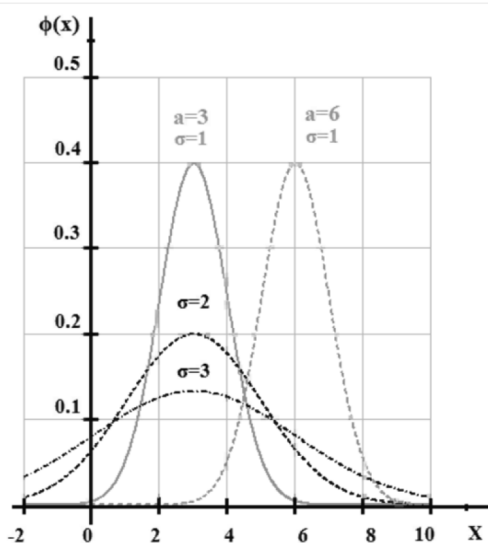


Рис. 24. Форма графика плотности в зависимости от значений μ и σ

Величина стандартного отклонения σ количественно отражает разброс значений измеряемой величины. В экспериментальной работе в большинстве случаев важно не допускать значительного варьирования изучаемых показателей, которое приводит к существенным ошибкам и недостоверности полученных данных.

Для математической статистики большое значение при использовании нормального распределения случайных чисел имеет правило трех сигм (3σ). Правило трех сигм заключается в том, что практически все значения генеральной совокупности случайных чисел с вероятностью 0,9973 расположены в интервале трех нормальных стандартных отклонений (σ) в любую сторону от математического ожидания (средней) $\mu \pm 3\sigma$ (рис. 25).

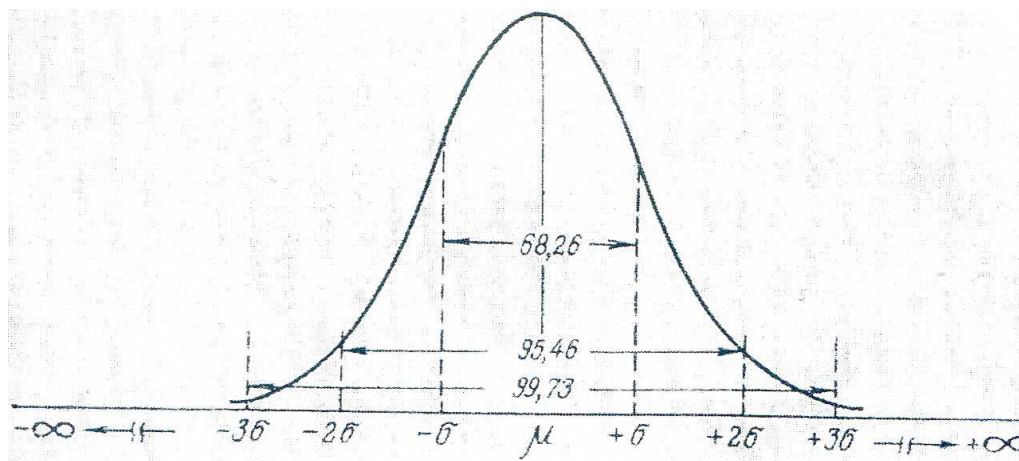


Рис. 25. Плотность нормального распределения непрерывной случайной величины при значениях $\mu - 3\sigma$, $\mu + 3\sigma$ (соответствует доли площади под кривой распределения, %)

в пределах $\mu \pm \sigma$ расположено 68,26 % всех случайных величин (наблюдений);

в пределах $\mu \pm 2\sigma$ находится 95,46 % всех значений случайной величины;

в пределах $\mu \pm 3\sigma$ расположены практически все значения случайных величин – 99,73 %

Такая закономерность нормального распределения случайных величин постоянна и не зависит от формы графика (островершинный, плосковершинный).

Площадь под кривой графика нормального распределения ограниченная от средней (μ) на t стандартных отклонений называется статистической надежностью или уровнем вероятности P . Выражается интервалом от 0 до 1 или в процентах от этого интервала и показывает вероятность появления значения случайной величины, расположенной в пределах $\mu = t\sigma$. Вероятность того, что значение случайной величины располагается вне указанного предела, называется уровнем значимости

P_1 и определяется соотношением $P_1 = 1 - P$. Таким образом, чем больше уровень вероятности, тем меньше уровень значимости.

В агрономических исследованиях доверительная вероятность $0,95 = 95 \%$ и уровень значимости $0,05 = 5 \%$ являются допустимыми в большинстве полевых и лабораторных опытов. В отдельных опытах, требующих высокой точности, применяется уровень вероятности $0,99 = 99 \%$ и уровень значимости $0,01 = 1 \%$.

В целом закон нормального распределения случайных чисел является теоретической основой объективной оценки относительно малых выборок в агрономических опытах, даже когда единичные значения не распределены нормально. Установлено, что для достаточно больших выборок (не менее 30) закономерности их распределения близки к нормальному распределению для генеральной совокупности. Так, в пределах $\bar{x} \pm S$ находится $68,26 \%$, $\bar{x} \pm 2S$ — $95,46 \%$, и $\bar{x} \pm 3S$ — $99,73 \%$ всех наблюдений (Б. А. Доспехов, 1979).

Предельная ошибка выборки — статистическая величина, определяющая с определенной степенью вероятности максимальные значения, на которые результаты выборки отличаются от результатов генеральной совокупности. На основании теоретических расчетов устанавливают допуски в измерениях, назначают ошибку $\Delta_{\text{предельн.}} = 2\sigma$ или $\Delta_{\text{предельн.}} = 3\sigma$. Результаты измерений, у которых ошибки превышают предельную, считаются грубыми и их в большинстве случаев бракуют.

В отдельных случаях распределение случайных величин малой выборки может значительно отличаться от нормального и иметь асимметричные показатели по отношению к средней. Асимметрия может быть положительной (правосторонней), если увеличивается частота правой части, или левосторонней, если увеличивается частота левой части вариационного ряда (рис. 26).

Асимметричное распределение возникает в результате неправильно взятой выборки (в большинстве не случайной) или если отдельные факторы действуют в одном направлении сильнее, чем в другом.

Многовершинные и двухвершинные кривые в большинстве случаев получаются, если в выборку попали объекты с различными другими параметрами (смесь сортов в одновидовых посевах, появление образцов с новыми свойствами в селекции и др.).

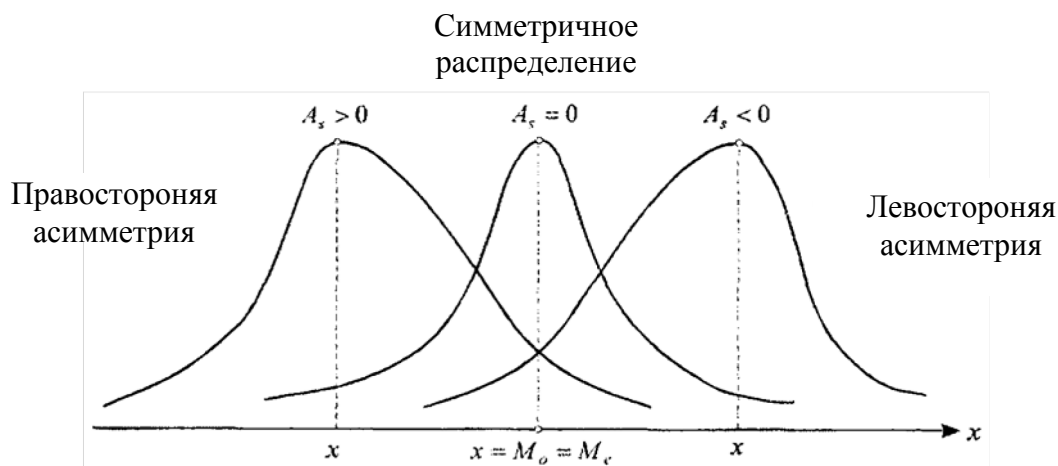


Рис. 26. Примерные графики асимметричного распределения случайных величин

Как уже отмечалось, закон нормального распределения проявляется при количестве наблюдений более 30 ($n > 30$). В опытной работе такое количество наблюдений проводится при изучении биометрических показателей растений, качественных показателей растительного сырья, агрохимических свойств почвы и т. д. Для изучения важнейших закономерностей распределения случайных величин применяются таблицы, графики, диаграммы и т. д. Например, в результате измерения высоты 50 растений кукурузы получены следующие данные, ранжированные в порядке возрастания величин (табл. 18).

**18. Ранжированные данные высоты 50 растений кукурузы
в порядке возрастания величин**

Высота растений, см													
210	215	217	225	229	229	230	231	232	235	235	235	238	238
239	240	240	240	241	242	245	245	249	249	250	250	250	
251	251	251	252	252	253	255	255	260	260	260	260	260	261
			264	265	267	268	268	270	270	278	280		

Для характеристики растений кукурузы по высоте необходимо сгруппировать их значения ($x_1, x_2 \dots x_n$) в группы с интервалом каждой группы i . Примерное число групп (k) равно корню квадратному из объ-

ема выборки ($k = \sqrt{50} \approx 7$) и должно быть не меньше 5 и не больше 20. Величина интервала групп определяется по соотношению:

$$i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k} = \frac{250 - 180}{7} = \frac{70}{7} = 10 \text{ см}$$

Для того чтобы величина интервала была равна целому числу необходимо взять 7 групп. Границы обычно принимаются на единицу измерения (в данном примере: 1 см). Распределение частот результатов измерения оформляется в виде таблицы (табл. 19).

19. Распределение по группам частот высоты растений кукурузы

№ группы	Группы по высоте, см	Частота признака	Средняя высота растений в группе, см
1	210–220	3	215
2	221–231	5	226
3	232–242	12	237
4	243–254	13	249
5	255–266	9	261
6	267–277	6	272
7	278–280	2	279

Сумма частот равна объему выборки $\sum f = n = 50$. Графическое изображение группировки растений по высоте позволяет более наглядно определить общие закономерности распределения признаков вариационного ряда (рис. 27).

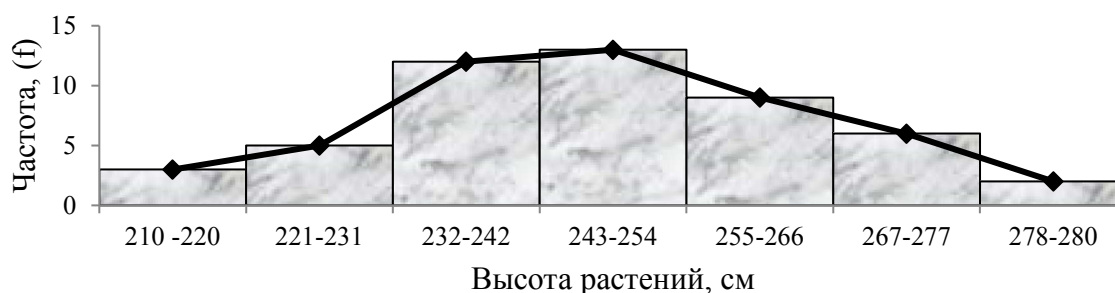


Рис. 27. Вариационная кривая и гистограмма распределения 50 растений кукурузы по высоте

Графическое изображение вариационного ряда — кривая распределения, или вариационная кривая; ступенчатый график — гистограм-

ма. На данном рисунке отмечается общая тенденция распределения признаков выборки случайных величин: группироваться около центра распределения частот, статистической характеристикой которого является средняя арифметическая \bar{X} , которая называется центральной тенденцией. В данном примере частота встречаемости признака у растений кукурузы по высоте 210–230 см составляет 16 %, 232–267 см — 68 % и 268–280 см — 16 %.

Вариационная кривая и гистограмма распределения растений кукурузы по высоте близки к нормальному распределению случайных чисел.

В полевых опытах количество повторений вариантов не превышает 4–5. Статистический анализ проводится по таким малым выборкам. Согласно закону нормального распределения, при небольшом числе наблюдений вероятность появления малых отклонений от средней генеральной совокупности существенно больше, чем отклонений значительных. Поэтому статистический анализ малых выборок основывается на теории У. Госсета (t-распределение Стьюдента).

15.2. Основные показатели количественной и качественной изменчивости

Основными статистическими параметрами, которые используются при анализе экспериментальных данных в полевом опыте, являются средняя арифметическая (\bar{X}), дисперсия (S^2), стандартное отклонение (S), ошибка средней арифметической ($S_{\bar{x}}$), коэффициент вариации (v), относительная ошибка выборочной средней ($S_{\bar{x}}\%$).

Среднее арифметическое (\bar{x}) – число, равное сумме всех случайных чисел множества, деленное на их количество (n). Случайная величина — величина, которая случайно принимает какое-то значение из множества возможных. Среднее значение случайных величин называют математическим ожиданием. Выборочное среднее является обобщенной характеристикой всей совокупности, одной из наиболее распространенных мер центральной тенденции (число, служащее для описания мно-

жества значений одним числом). Определяется как сумма величин вариационных рядов $(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$, деленное на их количество.

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{\sum x}{n}.$$

При большом массиве чисел с повторяющимися значениями для экономии времени можно вычислять взвешенную среднюю по формуле:

$$\bar{x} = \frac{(f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_n x_n)}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{\sum fx}{n},$$

где x – значение признака;

f – частота встречаемости показателя признака;

n – общее число показателей или сумма всех частот ($n = \sum f$).

Например, при подсчете количества зерен в колосе ячменя получены следующие данные (см): 20, 12, 16, 18, 18, 20, 22, 26, 26, 14, 14, 12, 12, 20, 20, 14, 18, 22, 20, 22. Количество измерений $n = 20$, частота встречаемости показателя 12 составляет $3(f)$ и т.д.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{3 \cdot 12 + 3 \cdot 14 + 1 \cdot 16 + 3 \cdot 18 + 5 \cdot 20 + 3 \cdot 22 + 2 \cdot 26}{3 + 3 + 1 + 3 + 5 + 3 + 2} = \frac{26 + 42 + 16 + 54 + 100 + 66 + 52}{20} \\ &= \frac{366}{20} = 18 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Средняя арифметическая является центром вариационного ряда, около которого происходит варьирование изучаемого признака, которая дает обобщенное представление о совокупности параметра изучаемого объекта. Для анализа уровня варьирования изучаемой совокупности случайных величин вычисляются параметры отклонений отдельных значений от средней.

Основное свойство средней арифметической — сумма положительных и отрицательных отклонений отдельных чисел вариационного ряда $(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$ от средней \bar{x} всегда равна нулю:

$$\sum(x_i - \bar{x}) = (x_1 - \bar{x}) + \dots + (x_n - \bar{x}) = 0.$$

Так, например, при измерении высоты тимофеевки луговой получен ряд данных (см): 40, 39, 38, 36, 38, 42, 41, 43, 38, 45. $n = 10$.

$$\text{Средняя высота } \bar{x} = \frac{40 + 39 + 38 + 36 + 38 + 42 + 41 + 43 + 38 + 45}{10} = \frac{400}{10} = 40 \text{ см.}$$

Сумма отклонений от средней составит:

$$\sum(x - \bar{x}) = 0 - 1 - 2 - 4 - 2 + 2 + 1 + 3 - 2 + 5 = 0.$$

Дисперсия (S^2) и стандартное отклонение (S) являются основными параметрами варьирования изучаемого ряда. Дисперсия — статистическая величина, которая показывает, насколько частные значения вариационного ряда отклоняются от средней величины конкретной выборки или указывает на разброс (варьирование) данных около центра распределения. Самый простой приближенный способ определения величины варьирования — это разность между максимальным и минимальным значением вариационного ряда $d = x_{\max} - x_{\min}$. Такая разность называется размахом варьирования. Для точного определения дисперсии учитываются все выборочные данные.

Для этого отклонения от средней величины возводятся в квадрат, чтобы избавиться в сумме от нулевого показателя. При больших выборках ($n > 30$) сумма квадратов делится на число измерений (n):

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}$$

Среднее квадратичное отклонение определяется посредством извлечения корня квадратного из квадратичной дисперсии:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

Для определения дисперсии и отклонения от средней небольших выборок (числа повторений, количества зерен в колосе, числа колосков и др.) вводится поправка на размер смещения относительно генеральной совокупности. Теоретически установлено, что отклонение одного измерения от \bar{x} как бы лишено свободы вариации и определяется варьированием остальных чисел. Размер смещения (ℓ) зависит от объема выборки (n) (В. Н. Перегудов, 1968) и равен:

$$\ell = \sqrt{\frac{n}{n-1}}$$

Так, например при $n = 3$, $\ell = 1,22$; при $n = 9$, $\ell = 1,060$, а при $n = 30$, $\ell = 1,017$. Установлено, что применения среднего абсолютного отклонения приводит к потере 12,4 % информации при малых выборках.

В связи с этим дисперсия и среднее отклонение для малых выборок определяется по следующим формулам:

$$S = \sqrt{\frac{n}{n-1}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ где } S \text{ — стандартное отклонение.}$$

Дисперсия малой выборки определяется по формуле:

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}.$$

Средние показатели выборки (\bar{x}) и стандартное отклонение (S) совместно являются достаточными оценочными данными о параметрах генеральной (нормальной) совокупности значений признака.

Как и при определении средней арифметической, при большой выборке, если повторяющиеся данные сгруппированы в группы по частотам (f), то дисперсию и стандартное отклонение определяют по формулам:

$$S^2 = \frac{\sum f(x - \bar{x})^2}{n - 1} \text{ и } S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum f(x - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$

Во многих случаях средняя арифметическая получается в виде целого числа с дробью, в связи с чем все отклонения ($x - \bar{x}$) и их квадраты $(x - \bar{x})^2$ получаются многозначными, что существенно усложняет расчеты дисперсии. Особенно трудоемкими бывают расчеты больших вариационных рядов. Дисперсию можно определить более простым способом при вычислении отклонений от произвольного начала (A), используя следующие ее свойства:

– уменьшение или увеличение показания варьирующего признака в определенное число раз дисперсии не изменяет;

– уменьшение или увеличение каждого значения признака на одну и ту же постоянную величину A дисперсии не изменяет;

– уменьшение или увеличение каждого значения признака в какое-то число раз k соответственно уменьшает или увеличивает дисперсию в k^2 раз, а среднее квадратическое отклонение — в k раз;

– дисперсия признака относительно произвольной величины всегда больше дисперсии относительно средней арифметической на квадрат разности между средней и произвольной величиной: $S^2 = S_A^2 - (\bar{x} - A)^2$.

Порядок расчета дисперсии включает следующие действия:

1) определяют среднюю арифметическую $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$;

2) возводят в квадрат среднюю арифметическую $\bar{x}^2 = \left(\frac{\sum x}{n}\right)^2$;

- 3) возводят в квадрат каждую варианту ряда x_i^2 ;
- 4) находят сумму квадратов вариант $\sum x_i^2$;
- 5) делят сумму квадратов вариант на их число, т. е. определяют средний квадрат $\overline{x^2} = \frac{\sum x_i^2}{n}$;

При вычислении дисперсии с помощью технических средств или компьютерных программ сумму квадратов отклонений определяют по фактическим данным, не вычисляя отклонения.

Коэффициент вариации (V) — стандартное отклонение (S), выраженное в процентах к средней арифметической определенной совокупности:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент вариации является относительной величиной изменчивости; позволяет сравнивать варьирование признаков разных показателей объектов наблюдения (высоты, массы, площади листьев, количества семян и т. д.).

Изменчивость признака является незначительной, если коэффициент вариации не превышает 10 %; средней, если это 10–20 % и значительной при величине более 20 %.

Для анализа выравненности признака можно использовать коэффициент (B), определяемый по соотношению:

$$B = 100 - V.$$

Коэффициент вариации применяется с показателями только положительного значения. При разных значениях средней (\bar{x}) и одинаковых значениях дисперсии (S) коэффициент вариации не является объективным.

В полевых опытах с кормовыми культурами коэффициенты вариации применяются для оценки изменчивости почвенного плодородия, погодных условий (осадки, теплообеспеченность), выравненности агроценозов по продуктивности, морфологическим показателям, биохимическому составу и т. д.

Ошибка выборочной средней ($S_{\bar{x}}$) является величиной отклонения средней выборки (\bar{x}) от средней генеральной совокупности изучаемого объекта (μ). По теории статистики данный показатель прямо про-

порционален выборочному стандартному отклонению (S) и обратно пропорционален корню квадратному из количества измерений (n).

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}.$$

Ошибка выборки имеет те же единицы измерения, что и средняя ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$).

Относительная ошибка выборки выражается в процентах от средней:

$$S_{\bar{x}} \% = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100.$$

Ошибки определенной выборки возникают из-за неполной представительности (репрезентативности) от общей генеральной совокупности. Ошибка средней арифметической зависит от уровня изменчивости изучаемого признака и количества измерений, из которых определяется среднее арифметическое.

Относительную ошибку средней иногда называют «точностью опыта», что, по мнению Б. А. Доспехова, является недостаточно обоснованным понятием, не отражающим достоверность полученных данных, поскольку ошибка опыта зависит не только от методического уровня эксперимента, но и от уровня продуктивности изучаемой культуры.

При малом числе измерений (n) пользоваться доверительным интервалом генеральной выборки нельзя. Для статистического анализа малых выборок применяется распределение Стьюдента. Распределение применяется только для нормального распределения случайных количественных величин.

Распределение Стьюдента (t-распределение) (У. Госсета) — нормальное распределение для малых выборок объемом меньше $n < 30$. Распределение Стьюдента позволяет определить принадлежность и уровень достоверности выборочных средних генеральной совокупности изучаемых объектов (проверить статистические гипотезы относительно параметров генеральной совокупности). Распределение Стьюдента — закономерность распределения ошибок измерения нормальных случайных величин генеральной совокупности. Критерий t — поправка, которая учитывает небольшой объем выборки. Основывается на положении о том, что в соответствии с законом нормального распределения при небольшом ко-

личестве наблюдений результаты обычно близки и вероятность появления малых отклонений больше, чем отклонений значительных.

Критерий Стьюдента определяется по формуле:

$$t_{st} = \frac{\bar{x} - \eta}{S_x},$$

где $S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$ – стандартная ошибка средней арифметической;

\bar{x} – средняя арифметическая малой выборки;

η – средняя арифметическая генеральной совокупности.

Критерий применим для сравнения средних значений двух выборок, полученных до и после воздействия определенного фактора, при одновременном воздействии двух факторов, при сравнении методов анализа и т.д.

В числителе формулы — отклонение выборочной средней от генеральной средней, в знаменателе — стандартная ошибка средней арифметической.

Графическое изображение распределения критерия t Стьюдента и нормального распределения показывает, что максимальные их частоты совпадают, но форма кривой t -распределения зависит от числа степеней свободы (рис. 28).

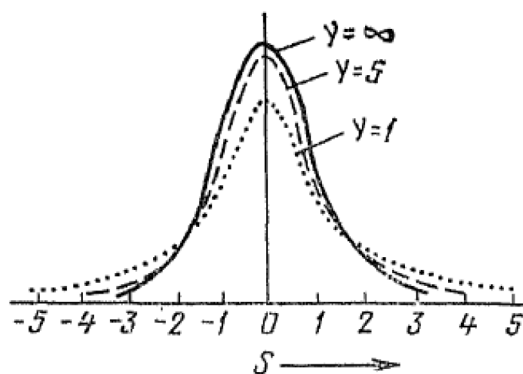


Рис. 28. Соотношение между нормальным $v \rightarrow \infty$ и t -распределением Стьюдента ($\gamma = 1$ и $\gamma = 5$, Б. А. Доспехов, 1979)

При малых величинах степеней свободы ($v = 1$) кривые графика медленно сближаются с осью абсцисс, с увеличением степеней свободы ($v = 5$) и свыше $v = 20$ распределение Стьюдента приближается к нормальному ($v \rightarrow \infty$).

Поскольку в большинстве случаев определение средней арифметической генеральной совокупности не представляется возможным на практике, значение t-критерия берут из таблицы (прил. 1). Значение критерия определяется числом степеней свободы ($n - 1$) и стандартными уровнями надежности (0,95 и 0,99) или уровнем значимости (0,05 и 0,01). На пересечении этих показателей в таблице находят t-критерий.

Распределение Стьюдента позволяет по малым выборкам проверять статистические гипотезы относительно генеральной совокупности изучаемых объектов: на сколько максимальное отклонение среднего арифметического малой выборки отличается от средней величины генеральной совокупности.

Определение доверительного интервала при объеме выборки >30 включает:

1. Для выборки (n) определяется средняя арифметическая (\bar{x}), стандартное отклонение (S) и число свободы $v = n - 1$.
2. По числу степеней свободы ($n - 1$) и выбранного уровня надежности (0,95 или 0,99) по таблице Стьюдента находят значение критерия t_{st} .
3. Определяется стандартная ошибка средней арифметической $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$.
4. Определяется нижняя и верхняя граница доверительного интервала по формуле: $x = \bar{x} \pm t \cdot S_{\bar{x}}$.

Например, необходимо определить на 5%-ном и 1%-ном уровнях значимости доверительные интервалы для генеральной средней по следующим данным выборки: $\bar{x} = 35$ ц зерна ячменя; $S_{\bar{x}} = 2$; $n = 6$; степеней свободы $V = n - 1 = 6 - 1 = 5$.

Для пяти степеней свободы по таблице (прил. 2, 3) находим значение $t_{0,5} = 2,6$ и $t_{0,1} = 4$.

Для 5%-ного доверительного интервала:

$$x \pm t_{0,5} \cdot S_{\bar{x}} = 35 \pm 2,6 \cdot 2 = 35 \pm 5,2 \text{ ц.}$$

Для 1%-ного доверительного интервала:

$$x \pm t_{0,1} \cdot S_{\bar{x}} = 35 \pm 4 \cdot 2 = 35 \pm 8,0 \text{ ц.}$$

Таким образом, предполагаемое значение средней генеральной совокупности для 5%-ного доверительного интервала может находиться в пределах 29,8–40,2 ц; для 1%-ного — 27–43 ц.

При увеличении числа выборки снижается стандартная ошибка средней арифметической и показатель критерия Стьюдента. Например, необходимо определить доверительные интервалы для следующих показателей выборки: $\bar{x} = 36,5$ ц/га ячменя; $S_{\bar{x}} = 1,6$; $n = 12$; $n - 1 = 11$.

По таблице Стьюдента при 11 степенях свободы критерии составят для $t_{0,5} = 2,2$; для $t_{0,1} = 3,1$.

Для 5%-ного доверительного интервала:

$$x \pm t_{0,5} \cdot S_{\bar{x}} = 36,5 \pm 2,2 \cdot 1,6 = 36,5 \pm 3,5 \text{ ц/га.}$$

Для 1%-ного доверительного интервала:

$$x \pm t_{0,1} \cdot S_{\bar{x}} = 36,5 \pm 3,1 \cdot 1,6 = 36,5 \pm 5 \text{ ц.}$$

Следовательно, предполагаемое значение средней генеральной совокупности для 5%-ного доверительного интервала может находиться в пределах 33,0–40,0 ц/га; для 1%-ного — 31,5–41,5 ц/га соответственно с надежностью 0,95 и 0,99.

Критерии Стьюдента применяются при проверке принадлежности «сомнительных» вариантов в выборках, а также для оценки существенности разности выборочных средних.

Способы определения принадлежности применяются тогда, когда их числовые значения значительно отличаются от остальных. Исключение числовых показателей «сомнительной» варианты без статистической проверки допускается тогда, когда полученные данные являются результатом грубой ошибки при учетах или проведении опытов. Во всех остальных случаях «сомнительные» данные можно исключать только посредством статистической проверки.

Для статистической проверки можно использовать способы «трех стандартных отклонений» и «t-критерия».

Способ трех стандартных отклонений.

Варианта принадлежит к выборочной совокупности, если ее значение отличается от значений средней арифметической не более чем на 3 стандартных отклонения. При условии: $x_{\max} - \bar{x} \leq 3S$ варианта сохраняется. Для проведения анализа необходимо:

- определить «сомнительные» варианты с максимальным или минимальным числовым значением $x_{\max, \min}$;

- вычислить среднюю арифметическую выборки \bar{x} , стандартное отклонение S и его утроенное значение $3S$;
- определить разность $x_{\max} - \bar{x}$ и $x_{\min} - \bar{x}$;
- сравнить результат разности с утроенным стандартным отклонением; при условии, что $\frac{x_{\max} - \bar{x}}{S} < 3S$ варианта оставляется в выборочной совокупности, а при $\frac{x_{\max} - \bar{x}}{S} > 3S$ варианту исключают.

Данный способ применяется для измерений, не требующих большей точности.

Способ t-критерия применяется с количеством вариантов < 30 при условии их нормального распределения. Варианта исключается из выборки, если вычисленные значения t-критерия больше его табличного значения. Порядок проведения анализа:

- определить изучаемые количественные показатели вариационного ряда определенного объема (n);
- определить количественные показатели вариант, требующих проверки. Обычно это крайние значения вариационного ряда (x_{\min} , x_{\max});
- вычислить среднюю арифметическую \bar{x} и стандартное отклонение вариационного ряда;
- определить разность ($x_{\max} - \bar{x}$) и фактическое значение t-критерия по формуле: $t_{\text{факт.}} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S}$ или $\frac{\bar{x} - x_{\min}}{S}$;
- определить табличное значение t-критерия для данного объема выборки (n), степени свободы ($n - 1$) и уровня значимости (0,95 или 0,01);
- сопоставить фактический и табличный критерии. Значение варианты сохраняется, если значение фактического критерия меньше или равно табличному $t_{\text{факт.}} < t_{\text{табл.}}$; варианта исключается, если $t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$.

Например, в опыте по изучению удобрений на посевах ячменя получены следующие данные (табл. 20).

20. Урожайность ячменя в опыте

Повторность	I	II	III	IV
Урожайность, ц/га	21	30	28	32

Вызывает сомнение достоверность сбора зерна в первой повторности — 21 ц/га. Для статистического анализа определяется среднее значение $\bar{x} = 27,75$ ц/га; стандартное отклонение $S = 4,79$ ц/га.

$$t_{\text{факт.}} = \frac{\bar{x} - x_{\text{мин}}}{S} = \frac{27,75 - 21,0}{4,79} = \frac{6,75}{4,79} = 1,41.$$

Для степени свободы 3 ($v = n - 1 = 4 - 1 = 3$) и уровня значимости 0,95 $t_{\text{табл.}} = 3,18$. Следовательно, $t_{\text{факт.}}$ меньше $t_{\text{табл.}}$ ($t_{\text{факт.}} < t_{\text{табл.}}$) и полученное значение 21 ц/га сбора ячменя в первой повторности сохраняется.

Оценка разности выборочных средних по t-критерию применяется для независимых и сопряженных (связанных) выборочных совокупностей.

В независимых выборочных совокупностях единицы наблюдений первой выборки не связаны с единицами наблюдений второй выборки; в сопряженных выборках единицы наблюдений первой выборки связаны с единицами наблюдений второй выборки каким-либо общим условием. В независимых выборках оцениваются существенности разности между средними ($d = x_1 - x_2$), в сопряженных выборках — существенность средней разности ($d = \sum d : n$).

Независимые выборки применяются при воздействии разных факторов на плодородие почвы (способы и сроки обработки, удобрения, известкование, сидераты и т. д.), на биометрические показатели растений (площадь питания, площадь листьев, ЧПФ, высота, количество и масса зерен в колосе и т. д.), на биохимические показатели растений (сухое вещество, протеин, БЭВ, жир и т. д.), на распространение и пораженность ценозов вредителями, болезнями и сорняками.

В независимых выборках ошибка разности или суммы средних арифметических определяется при одинаковом числе наблюдений ($n_1 = n_2$) по соотношению:

$$S_d = \sqrt{S^2_{\bar{x}_1} + S^2_{\bar{x}_2}},$$

где S_d – ошибка разности (или суммы);

$S_{\bar{x}_1}$ и $S_{\bar{x}_2}$ – ошибки сравниваемых средних арифметических \bar{x}_1 и \bar{x}_2 .

Существенность или несущественность различий между \bar{x}_1 и \bar{x}_2 определяется отношением разности к ее ошибке. Показатель, определя-

ющий это отношение — критерий существенности разности t .

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S^2_{\bar{x}_1} + S^2_{\bar{x}_2}}} = \frac{d}{Sd},$$

где d – разность средних арифметических независимых выборок;

Sd – ошибка разности.

Величина критерия t показывает во сколько раз разность d больше ошибки разности Sd .

Для анализа разности средних определяют фактическое значение t -критерия ($t_{\text{факт.}}$), которое сравнивают с теоретическим ($t_{\text{теор.}}$). Теоретическое значение критерия ($t_{\text{теор.}}$) определяют по таблице (прил. 1), учитывая число степеней свободы и принятый уровень значимости (0,05; 0,01), число степеней свободы определяется по соотношению: $v = n_1 + n_2 - 2$.

Если $t_{\text{факт.}}$ меньше или равно $t_{\text{теор.}}$ ($t_{\text{факт.}} \leq t_{\text{теор.}}$), принимается нулевая гипотеза. Нулевая гипотеза (H_0) означает, что две выборочные средние существенно не различаются по одному или нескольким признакам. При этом предполагается, что действительное различие средних равно нулю ($x_1 - x_2 = 0$ и $x_1 = x_2$) или, вернее, их сходство равно нулю.

При условии $t_{\text{факт.}} \geq t_{\text{теор.}}$ две выборочные средние различаются по изучаемым признакам. Альтернативная гипотеза (H_A) свидетельствует о существенном различии средних ($x_1 \neq x_2$).

Например, в двух образцах многолетних злаковых трав, взятых в фазу выметывания в четырехкратной повторности, определили в сухом веществе содержание протеина (%), средние значения (\bar{x}_1 , \bar{x}_2) и ошибки средних ($S_{\bar{x}_1}$, $S_{\bar{x}_2}$):

$$\bar{x}_2 \pm S_{\bar{x}_2} = 15,1 \pm 0,82 \%;$$

$$\bar{x}_1 \pm S_{\bar{x}_2} = 15,9 \pm 0,56 \%.$$

Число степеней свободы $v = n_1 + n_2 - 2 = 4 + 4 - 2 = 6$. В таблице приложения 1 определяются теоретические t -критерии для уровней значимости: $t_{05} = 2,45$ и $t_{01} = 3,71$.

Фактическое значение t -критерия определяется по формуле:

$$t_{\text{факт.}} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S^2 x_1 + S^2 x_2}} = \frac{d}{S_d} = \frac{15,9 - 15,1}{\sqrt{0,82^2 + 0,56^2}} = \frac{0,8}{\sqrt{0,67 + 0,31}} = \frac{0,8}{\sqrt{0,98}} = \frac{0,8}{0,99} = 0,81.$$

Следовательно, $t_{\text{факт.}} = 0,81$ меньше $t_{\text{теор.}}$ на уровне значимости 05 (5 %) и 01 (1 %): $t_{\text{факт.}} = 0,81 < t_{05} = 2,45 < t_{01} = 3,71$. Нулевая гипотеза (H_0) принимается: средние по содержанию протеина в образцах многолетних злаковых трав существенно не различаются.

Нулевую гипотезу можно также проверить по величине наименьшей существенной разности, которая определяется в единицах варьирующего признака (в данном примере в процентах).

Наименьшая существенная разность (НСР) определяется по формуле:

$$\text{НСР} = t_{\text{теор.05}} \text{ или } 01 \cdot S_d,$$

где $S_d = \sqrt{S^2 \bar{x} + S^2 \bar{x}}$ – ошибка разности.

В данном примере ошибка разности составляет 0,99%, $t_{\text{теор.05}} = 2,45$, $t_{\text{теор.01}} = 3,71$.

$$\text{НСР}_{05} = t_{05} S_d = 2,45 \cdot 0,99 = 2,43\%,$$

$$\text{НСР}_{01} = t_{01} S_d = 3,71 \cdot 0,99 = 3,67\%.$$

В том случае, когда разность между средними (d) равна или больше НСР ($d \geq \text{НСР}$) различия между средними существенны и нулевая гипотеза (H_0) отвергается; при меньших значениях разности средних ($d < \text{НСР}$) нулевая гипотеза принимается.

В данном примере $d < \text{НСР}_{05} < \text{НСР}_{01}$ ($0,8 < \text{НСР}_{05} 2,43 < \text{НСР}_{01} 3,67$) различий по содержанию протеина в сухом веществе многолетних трав нет.

В сопряженных выборках оценка существенности средних проводится разностным методом. Разностный метод позволяет сравнивать сопряженные, коррелирующие пары признаков, что в значительной степени устраняет систематическую ошибку, вызванную различным плодородием в разных повторениях полевого опыта.

Последовательность вычислений включает определение:

- парных вариантов (x_1 и x_2), требующих сравнения и их количественных показателей;
- разности средних (d) между сравниваемыми парами ($d = x_1 - x_2$);
- квадратов разности между сравниваемыми парами (d^2), поскольку может иметь положительные и отрицательные показатели;

– средних показателей изучаемого признака, средней разности (\bar{d}) и квадратов разности (\bar{d}^2), разделив их суммы на количество повторений или пар (n);

Метод парных сравнений применяется для оценки наблюдений за свойствами почвы, морфологическими параметрами растений, биохимическими показателями растительного сырья, оценки точности аналитических данных и т. д. Разностный метод попарных сравнений можно также использовать при обработке результатов полевых опытов, заложенных стандартным методом и методом обычных повторений при небольшом количестве вариантов.

Например, необходимо определить существенную разность по содержанию протеина в сухом веществе двух сортов клевера лугового в фазу начало цветения. Схема обработки данных следующая (табл. 21).

21. Схема обработки данных опыта, заложенного методом парных сравнений

№ образца	Содержание протеина, %		Разность, d	Квадрат разности, d ²	Ошибка средней разности $S\bar{d} = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 : n}{n(n-1)}}$	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{Sd}$
	сорт I	сорт II				
1	18,2	18,4	-0,2	0,04	$S\bar{d} = \sqrt{\frac{13,73 - 20,25 : 4}{4(4-1)}} =$ $\sqrt{\frac{13,73 - 5,06}{12}} = \sqrt{0,72} =$ $0,85$	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{Sd} =$ $\frac{1,13}{0,85} = 1,33$
2	19,3	17,8	+1,5	2,25		
3	20,1	17,6	+2,5	6,25		
4	19,8	19,1	+0,7	0,49		
Сумма	77,4	72,9	4,50	13,73		
Среднее	19,35	18,22	1,13	—		
$(\sum d)^2 = 4,50^2 = 20,25$						

Для трех степеней свободы ($v = 4 - 1 = 3$) теоретическое значение $t_{05} = 3,2$, $t_{01} = 5,8$. Следовательно, $t_{\text{факт.}} < t_{\text{теор.}}$ на уровнях значимости 0,05 и 0,01 различия между сортами клевера лугового по содержанию в сухом веществе протеина в фазу начала цветения несущественны.

Пример оценки существенности средней разности содержания гумуса в травянопропашном севообороте приведен в таблице 22.

22. Оценка существенности средней разности содержания гумуса в травяно-пропашном севообороте по результатам анализа, проведенного в 1986 и 1992 гг.

№ образца	Содержание гумуса, %		Разность, d	Квадрат разности d ²	Ошибка средней разности $S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 : n}{n(n-1)}}$	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S_{\bar{d}}}$
	1992 г.	1986 г.				
1	2,31	2,34	-0,03	0,001	$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{0,51 - 2,69 : 8}{8(8-1)}} =$ $\sqrt{\frac{0,51 - 0,34}{56}} = \sqrt{0,003} =$ 0,055	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S_{\bar{d}}} = \frac{0,21}{0,055} = 3,82$
2	2,50	2,38	+0,12	0,01		
3	2,57	2,38	+0,19	0,04		
4	2,62	2,25	+0,37	0,14		
5	2,52	2,50	+0,02	0,01		
6	2,58	2,29	+0,29	0,08		
7	2,56	2,28	+0,28	0,08		
8	2,76	2,36	+0,40	0,16		
Сумма	20,42	18,78	1,64	0,51		
Среднее	2,55	2,35	0,21	—		
$(\sum d)^2 = 1,64^2 = 2,69$						

Для семи степеней свободы ($v = 8 - 1 = 7$) $t_{\text{теор.05}} = 2,4$, $t_{\text{теор.01}} = 3,5$. Таким образом, $t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$ на уровнях значимости 0,05 и 0,01 (5 % и 1 %). Следовательно, содержание гумуса в травянопропашном севообороте достоверно возросло (нулевая гипотеза H_0 отвергается).

При небольшом количестве вариантов (2–4) разностный метод может применяться для оценки существенности данных полевого опыта. Оценка существенной разности проводится как между контрольным и опытным вариантом, так и между двумя опытными вариантами. При увеличении количества вариантов количество попарных сравнений возрастает в геометрической прогрессии. Например, при четырех вариантах возможно 6 парных сравнений (1 : 2; 1 : 3; 1 : 4; 2 : 3; 2 : 4; 3 : 4), при шести вариантах — 15, при восьми — 28 и т. д. Технически выполнять такую работу очень сложно. Поэтому в полевом опыте преимущественно используется метод дисперсионного анализа.

Например, необходимо дать оценку существенной разности продуктивности кормовой свеклы при размещении культуры по предшественникам и возделывании в монокультуре (табл. 23, 24).

23. Сбор сухого вещества кормовой свеклы при размещении культуры по предшественникам и возделывании в монокультуре

Предшественник	Сбор сухого вещества по повторениям, ц/га			
	I	II	III	IV
1. Монокультура (контроль)	74,5	69,8	70,1	72,5
2. Кукуруза	78,1	76,2	71,4	80,2
3. Клевер	81,2	79,4	82,3	84,1

24. Схема обработки данных по продуктивности кормовой свеклы в зависимости от предшественников

Повторность варианта	Содержание протеина, %		Разность d, ц/га	Квадрат разности d ²	Ошибка средней разности $S\bar{d} = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 : n}{n(n-1)}}$	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S\bar{d}}$
	2	1				
Вариант	2	1	—	—	$S\bar{d} = \sqrt{\frac{115,0 - 361 : 4}{4 \cdot 3}} = \sqrt{\frac{115,0 - 90,3}{12}} = \sqrt{2,06} = 1,43$	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S\bar{d}} = \frac{4,8}{1,43} = 3,36$
I	78,1	74,5	+3,6	13,0		
II	76,2	69,8	+6,4	41,0		
III	71,4	70,1	+1,5	1,7		
IV	80,2	72,5	+7,7	59,3		
Сумма	305,9	286,9	19,0	115,0		
Среднее	76,5	71,7	4,8	—	$(\sum d)^2 = 19^2 = 361$	
Вариант	3	1	—	—	$S\bar{d} = \sqrt{\frac{421,5 - 1608 : 4}{4 \cdot 3}} = \sqrt{\frac{421,5 - 402,0}{12}} = \sqrt{1,63} = 1,27$	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S\bar{d}} = \frac{10}{1,27} = 7,87$
I	81,2	74,5	+6,7	44,9		
II	79,4	69,8	+9,6	92,2		
III	82,3	70,1	+12,2	148,8		
IV	84,1	72,5	+11,6	134,6		
Сумма	327,0	286,9	40,1	421,5		
Среднее	81,9	71,7	10,0	—	$(\sum d)^2 = 40,1^2 = 1608$	
Вариант	3	2	—	—	$S\bar{d} = \sqrt{\frac{157,1 - 462,3 : 4}{4 \cdot 3}} = \sqrt{\frac{157,1 - 115,6}{12}} = \sqrt{3,46} = 1,86$	$t_{\text{факт.}} = \frac{d}{S\bar{d}} = \frac{5,4}{1,86} = 2,90$
I	81,2	78,1	+3,1	9,6		
II	79,4	76,2	+3,2	10,2		
III	82,3	71,4	+10,9	118,8		
IV	84,5	80,2	+4,3	18,5		
Сумма	327,4	305,9	21,5	157,1		
Среднее	81,9	76,5	5,4	—	$(\sum d)^2 = 21,5^2 = 462,3$	

В данном примере наибольшие прибавки сухого вещества (10,2 ц/га) получены при размещении посевов кормовой свеклы по пласту клевера. Разность между средними существенна на 0,05 и 0,01 уровне значимости ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}} 0,05$ и $0,01$) (табл. 25).

25. Продуктивность кормовой свеклы в зависимости от предшественников

№ пары	Предшественник	Сбор сухого вещества, ц/га	Прибавка, ц/га	t-критерии		
				теоретический на уровне значимости		фактический
				0,05	0,01	
1	Монокультура	71,7	—	3,18	5,84	3,36
	Кукуруза	76,5	4,8			
2	Монокультура	71,7	—	3,18	5,84	7,87
	Клевер	81,9	10,2			
3	Кукуруза	76,5	—	3,18	5,84	2,90
	Клевер	81,9	5,4			

При размещении по кукурузе разность других по сравнению с монокультурой существенна только на 0,05 уровне значимости ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.0,05}} < t_{\text{теор.0,01}}$).

Разность средних при размещении кормовой свеклы по кукурузе и клеверу несущественна ($t_{\text{факт.}} < t_{\text{теор.0,05}} < t_{\text{теор.0,01}}$).

Как уже отмечалось, в полевых опытах с кормовыми культурами в большинстве случаев уровень значимости 0,05 (вероятность 95 %) является вполне достаточным для обоснования надежности полученных данных. Принимая уровень значимости 0,05 или вероятность 0,95 (95 %), риск сделать неверные выводы составляет 5 % из 100.

F-распределение Фишера используется для анализа различий между дисперсиями двух независимых выборок. В отличие от критерия Стьюдента (t), который применяется только к выборкам из нормальной совокупности с одинаковыми генеральными дисперсиями и где сравниваются только средние, критерий Фишера (F) показывает положительный эффект по величине дисперсии. Критерий Фишера представляет собой отношение дисперсий:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2},$$

где S_1^2 – большая,

S_2^2 – меньшая из сравниваемых дисперсий.

Если $t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$, то между сравниваемыми дисперсиями имеются существенные различия; $t_{\text{факт.}} \leq t_{\text{теор.}}$ — различия несущественны. Теоретическое значение критерия F для принятого уровня значимости находят по таблице (прил. 2) с учетом степеней свободы сравниваемых дисперсий. На сравнении дисперсий разработан важный статистический метод дисперсионного анализа. В полевых опытах критерий Фишера определяется путем сравнения дисперсий вариантов с дисперсией случайных ошибок:

$$F = \frac{S_{\text{вариантов}}^2}{S_{\text{ошибок}}^2}.$$

Данное соотношение показывает, во сколько раз действие изучаемого фактора превосходит действие случайных ошибок. При применении дисперсионного метода важно избегать систематических ошибок, что требует рандомизированного размещения вариантов.

15.3. Дисперсионный анализ

В настоящее время самым распространенным и совершенным методом статистической обработки экспериментальных данных в полевых опытах является дисперсионный анализ.

Преимущество дисперсионного анализа по сравнению с методом попарных сравнений по t -критерию Стьюдента:

- вместо индивидуальных ошибок средних по каждому варианту, в дисперсионном анализе используется обобщенная ошибка средних;
- метод позволяет обрабатывать данные простых и сложных, однолетних и многолетних, одно- и многофакторных опытов;
- значительно сокращает количество вычислений при большом числе вариантов;
- позволяет использовать компьютерные программы. В последние годы разработаны ряд компьютерных программ (STRAZ, Statistika-

6, SPSS-11 и другие), которые существенно повышают эффективность использования дисперсионного анализа.

Основные предпосылки дисперсионного анализа:

- случайное, независимое и нормальное распределение ошибок, что предполагает обязательную рандомизацию (randomization) выборок и размещения вариантов;
- отсутствие корреляции между дисперсиями и средними по вариантам;
- однородность дисперсии различных вариантов;
- слагаемость эффектов, то есть влияние всех факторов (вариантов, повторений, случайных) равно 1 или 100 %.

Дисперсионный анализ предполагает обязательное планирование полевого опыта. Статистически обоснованный метод закладки полевого опыта определяет метод дисперсионного анализа результатов.

При полной рандомизации без повторений при небольшом количестве вариантов (2–3) или в вегетационных опытах общая сумма квадратов расчленяется на варьирование между вариантами (C_v) и ошибками (C_z) внутри выборок:

$$C_\gamma = C_v + C_z.$$

Общее число степеней свободы также расчленяется на две части.

При проведении однофакторных полевых опытов методом рандомизированных повторений общая сумма квадратов (C_γ) разлагается на три части: варьирование повторений (C_p), вариантов (C_v) и случайное (C_z) (табл. 26):

$$C_\gamma = C_p + C_v + C_z$$

и соответственно степеней свободы:

$$N - 1 = (n - 1) + (\ell - 1) + (n - 1) + (\ell - 1),$$

где n – число повторений,

ℓ – число вариантов.

При проведении двухфакторных опытов методом рандомизированных повторений суммы квадратов для вариантов (C_v) расчленяются на три, а в трехфакторном — на семь компонентов.

При изучении факторов А, В, С и их взаимодействия общая сумма квадратов имеет следующий вид:

- при двухфакторном опыте: $C_\gamma = (C_A + C_B + C_{AB}) + C_p + C_z$;

– при трехфакторном опыте: $C_{\gamma} = (C_A + C_B + C_C + C_{AB} + C_{AC} + C_{BC} + C_{ABC}) + C_p + C_z$.

26. Схема варьирования в однофакторном полевом опыте, заложенном методом рандомизированных повторений

№ варианта	Сбор сухого вещества кукурузы по повторениям, ц/га				Среднее по повторениям, ц/га	
	I	II	III	IV		
1	60,1	59,3	59,1	61,2		59,92
2	75,1	77,0	74,6	76,8		75,88
3	96,6	94,2	93,0	95,1	Варьирование повторений, C_p	94,73
4	95,5	93,1	92,9	94,2		93,93
5	98,1	96,2	94,2	95,3		95,95
	Общее варьирование C_{γ}					Варьирование вариантов, C_v

Соответственно указанным компонентам разлагается и общее число степеней свободы.

При размещении опыта методом латинского квадрата или прямоугольника также имеются соответствующие методы дисперсионного анализа (Б. А. Доспехов, 1979).

В полевом кормопроизводстве наиболее распространены одно- и многофакторные опыты, размещенные методом рандомизированных повторений.

Схема дисперсионного анализа включает:

– определение среднего урожая по всем делянкам опыта, вычисление отклонений от среднего всех урожаев отдельных делянок, отклонения возводят в квадрат и находят их сумму, которая соответствует общей вариации опыта (общего варьирования, C_{γ});

– вычисляют средние урожаи для вариантов, их отклонения от среднего урожая, квадраты отклонений и их сумму. Полученная величина характеризует изменение урожаев в зависимости от вариантов (варьирование вариантов C_v);

– определяют средние урожаи по повторениям, их отклонения от среднего урожая для опыта, квадраты отклонений и сумму этих отклонений, характеризующие варьирование урожаев в зависимости от плодородия почвы;

– вычитая из суммы квадратов общего варьирования (C_y), квадраты дисперсии вариантов (C_v) и повторений (C_p) находят сумму квадратов (C_z), соответствующую случайным отклонениям или остаточному варьированию (ошибки опыта);

– полученные суммы квадратов делят на число степеней свободы, получая средние квадраты: для вариантов $\ell - 1$; повторений $n - 1$ и случайного варьирования $(n - 1) + (\ell - 1)$;

– отношение среднего квадрата вариантов к среднему случайных отклонений является критерием точности опыта (критерий Фишера):

$$F_{\text{факт.}} = \frac{C_v}{C_z};$$

– по соответствующей таблице (прил. 2) определяют теоретическое значение $F_{\text{теор.}}$. В том случае, если $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$, полученные данные достоверны и нулевая гипотеза отвергается;

– для определения количественных показателей различий между вариантами определяют наименьшую существенную разницу (НСР).

В данной методике представлена дисперсионная обработка экспериментальных данных одно- и двухфакторного опытов, а также опыта с многолетними травами.

Порядок статистической обработки однофакторного опыта с однолетними культурами приводится на примере полевого опыта ВНИИ кормов по изучению влияния минеральных удобрений на сбор сухого вещества викоовсяной смеси (табл. 27).

27. Сбор сухого вещества викоовсяной смеси

Вариант опыта	Повторность, X				Сумма, V	Среднее
	I	II	III	IV		
1	30,5	30,8	30,8	23,5	115,6	28,9
2	39,1	37,6	39,2	31,8	147,7	36,9
3	37,1	39,2	39,5	32,0	147,8	37,0
4	37,4	36,1	36,5	31,0	141,0	35,3
5	38,6	39,9	37,6	39,1	155,2	38,8
6	38,4	36,4	36,1	34,1	145,0	36,3
7	39,1	39,2	41,7	33,6	153,6	38,4
8	33,9	41,7	37,2	28,0	140,8	35,2
9	38,8	41,6	43,2	35,1	158,7	39,7
Сумма ΣP	332,9	342,5	341,8	288,2	$X = 1305,4$	$\bar{X} = 36,3$

Для вычисления сумм квадратов исходные данные целесообразно преобразовать по соотношению $X_1 = X - A$, приняв за условное среднее (условное начало) A — число 36, близкое к \bar{X} . Преобразованные данные (отклонения) приведены в таблице 28. При использовании вычислительных технических средств сумму квадратов отклонений определяют по фактическим данным, не вычисляя отклонения.

28. Отклонения от условного начала A

Вариант опыта	$X_1 = X - 36$				Сумма, V
	I	II	III	IV	
1	-5,5	-5,2	-5,2	-12,5	-28,4
2	3,1	1,6	3,2	-4,2	3,7
3	1,1	3,2	3,5	-4,0	3,8
4	1,4	0,1	0,5	-5,0	-3,0
5	2,6	3,9	1,6	3,1	11,2
6	2,4	0,4	0,1	-1,9	1,0
7	3,1	3,2	5,7	-2,4	9,6
8	-2,1	5,7	1,2	-8,0	-3,2
9	2,8	5,6	7,2	-0,9	14,7
Сумма ΣP	8,9	18,5	17,8	-35,8	$\Sigma X_1 = 9,4$

Дальнейшие вычисления ведут в следующей последовательности:

1. Записывают общее число наблюдений: $N = \ell \cdot n = 9 \cdot 4 = 36$.
2. Определение корректирующего фактора (поправку):

$$C = (\Sigma X_1)^2 : N = (9,4)^2 : 36 = 88,36 : 36 = 2,45.$$

Правильность расчетов проверяется по равенству: $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X = 1305,4$.

Правильность расчетов поведутся по равенству: $\Sigma P = \Sigma V = \Sigma X_1 = 9,4$.

3. Рассчитывают суммы квадратов отклонений:

а) общая $C_\gamma = \Sigma X_1^2 - C = (5,5^2 + 3,1^2 + \dots + 8,0^2 + 0,9^2) - 2,45 = 643,52 - 2,45 = 641,07$;

б) повторностей $C_p = \Sigma p^2 : \ell - c = (8,9^2 + 18,5^2 + 17,8^2 + 35,8^2) : 9 - 2,45 = 2019,94 : 9 - 2,45 = 224,44 - 2,45 = 221,99$;

в) вариантов $C_v = \Sigma V^2 : n - c = (28,4^2 + 3,7^2 + \dots + 14,70^2) : 4 - 2,45 = 1288,82 : 4 - 2,45 = 322,16 - 2,45 = 319,71$;

г) остаточная $C_z = C_\gamma - C_p - C_v = 641,07 - 221,99 - 319,71 = 99,37$.

4. Составляем таблицу дисперсионного анализа (табл. 29).

29. Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера F	
				F факт.	F _{0,05} теор.
Общая	641,07	35	—	—	—
Повторностей	221,99	3	—	—	—
Вариантов	319,71	8	39,96	9,65	2,05
Остаток (ошибки)	99,37	24	4,14	—	—

Значение критерия F₀₅ теор. находят в приложении 4 для восьми степеней свободы дисперсии вариантов (числитель) и 24 — дисперсии ошибок (знаменатель). В опыте есть существенные различия, поскольку F_{факт.} > F₀₅ теор. (9,65 > 2,05).

5. Для оценки существенности различий вариантов вычисляют:

а) ошибку опыта $\bar{X} = \sqrt{\frac{S^2}{n}} = \sqrt{\frac{4,14}{4}} = \sqrt{1,035} = 1,02$ ц,

б) ошибки разности средних $Sd = \sqrt{\frac{2S^2}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,14}{4}} = \sqrt{\frac{8,28}{4}} = \sqrt{2,07} = 1,44$ ц.

в) наименьшую существенную разность для 5%-ного уровня значимости: $НСР_{05} = t_{05} \cdot Sd = 2,1 \cdot 1,44 = 3,02 = 3,0$ ц/га.

Теоретическое значение критерия $t_{05} = 2,1$ находят по приложению 5 для 24 степеней свободы остаточной дисперсии для уровня значимости 0,05.

6. Записывают результаты опыта в таблицу статистической обработки (табл. 30).

Таким образом, к I группе относят варианты, существенно превышающие контроль, в данном случае 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Ко II группе относят варианты, у которых отклонения не выходят за пределы \pm НСР, а к III группе — уступающие контрольному варианту по урожайности. Наименьшая существенная разница (НСР) применяется также для сравнительной оценки всех изучаемых вариантов между собой, что позволяет выделить более оптимальные.

30. Результаты статистической обработки опыта

Вариант опыта	Средняя урожайность, ц/га	Отклонения от контроля	Группа
1	28,9	—	Контроль
2	36,9	8,0	1
3	37,0	8,1	1
4	35,3	6,4	1
5	38,8	9,9	1
6	36,3	7,4	1
7	38,4	9,5	1
8	35,2	6,3	1
9	39,7	10,8	1
НСР ₀₅	—	3,0	—

Долевое участие факторов (повторений, вариантов, остатка) в общей дисперсии, выраженное в долях от единицы или процентах:

$$- \text{влияние вариантов } \eta^2_v = \frac{C_v}{C_y} = \frac{319,71}{641,07} = 0,50,$$

$$- \text{влияние повторений } \eta^2_p = \frac{C_p}{C_y} = \frac{221,99}{641,07} = 0,35,$$

$$- \text{влияние случайных факторов (остаток) } \eta^2_z = \frac{C_z}{C_y} = \frac{99,37}{641,07} = 0,15.$$

При дисперсионном анализе данных полевых опытов с многолетними культурами главное внимание следует уделять выводам, вытекающим из обработки за весь период эксперимента. Обработка данных при этом включает два этапа: анализ данных урожайности за каждый год и обработку суммарных урожаев за весь период опыта.

Порядок дисперсионного анализа многолетнего опыта приводится на примере двухлетнего изучения травосмесей многолетних трав. Сумма квадратов определялась по фактическим данным. В таблице 31 по сбору сухого вещества определяются суммы и средние за каждый год и сумма за весь период опыта.

31. Сбор сухого вещества травосмесей многолетних трав

Годы	Варианты (травосмеси)	Повторность				Сумма, V	Среднее
		I	II	III	IV		
2021	1 (контроль)	44,3	40,1	39,4	41,6	165,4	48,4
	2	51,4	48,3	46,9	49,1	195,7	48,9+
	3	53,3	50,2	48,6	52,2	204,3	51,1
	Сумма P	149,0	138,6	134,9	142,9	$\Sigma X = 565,4$	47,1
2022	1 (контроль)	41,2	38,9	40,3	39,1	159,5	39,9
	2	46,3	45,3	43,6	47,1	182,3	45,6
	3	45,2	42,3	40,6	46,9	175,0	43,8
	Сумма P	132,7	126,5	124,5	138,1	$\Sigma X = 516,8$	43,12
В сумме за 2 года	1 (контроль)	85,5	79,0	79,7	80,7	324,9	81,23
	2	97,7	93,6	90,5	96,2	378,0	94,50
	3	98,5	92,5	89,2	99,1	379,0	94,83
	Сумма P	281,5	265,1	259,4	276,0	1082,2	90,18

Данные 2021 г.:

Количество наблюдений: $N = \ell \cdot n = 3 \cdot 4 = 12$.

Корректирующий фактор: $C = (\Sigma X)^2 : N = (565,4)^2 : 12 = 319677,16 : 12 = 26639,76$.

Общая сумма квадратов: $C_{\gamma} = \Sigma X^2 - c = (44,3^2 + 40,1^2 + \dots + 48,6^2 + 52,2^2) - 26639,76 = 246,69$.

Сумма квадратов повторений: $C_p = (\Sigma p^2) : \ell - c = (149,0^2 + 138,6^2 + 134,9^2 + 142,9^2) : 3 - 26639,76 = 36,67$.

Сумма квадратов вариантов: $C_v = (\Sigma V^2) : n - c = (165,4^2 + 195,7^2 + 204,3^2) : 4 - 26639,76 = 208,75$.

Остаток (ошибка): $C_z = C_{\gamma} - C_p - C_v = 246,69 - 36,67 - 208,75 = 1,27$.

Данные 2022 г.:

Количество наблюдений: $N = \ell \cdot n = 3 \cdot 4 = 12$.

Корректирующий фактор: $C = (\Sigma X)^2 : N = (516,8)^2 : 12 = 267082,24 : 12 = 22256,85$.

Общая сумма квадратов: $C_{\gamma} = \Sigma X^2 - c = (41,2^2 + 38,9^2 + 40,3^2 \dots + 42,3^2 + 40,6^2 + 46,9^2) - 22256,85 = 102,15$.

Сумма квадратов повторений: $C_p = (\sum p^2) : \ell - c = (132,7^2 + 126,5^2 + 124,5^2 + 133,1^2) : 3 - 22256,85 = 18,25$.

Сумма квадратов вариантов: $C_v = (\sum V^2) : n - c = (152,5^2 + 182,3^2 + 175,0^2) : 4 - 22256,85 = 67,79$.

Остаток (ошибка): $C_z = C_\gamma - C_p - C_v = 102,15 - 18,95 - 67,79 = 15,41$.

В сумме за 2021–2022 гг.:

Количество наблюдений: $N = \ell \cdot n = 3 \cdot 4 = 12$.

Корректирующий фактор: $C = (\sum X)^2 : N = (1082,2)^2 : 12 = 1171156,80 : 12 = 97596,40$.

Общая сумма квадратов: $C_\gamma = \sum X^2 - c = (85,5^2 + 79,0^2 + 79,7^2 \dots + 92,5^2 + 89,2^2 + 99,1^2) - 97596,40 = 606,32$.

Сумма квадратов повторений: $C_p = (\sum p^2) : \ell - c = (79354,89 + 70278,01 + 67288,36 + 76176,00) : 3 - 97596,40 = 293097,26 : 3 - 97596,40 = 102,69$.

Сумма квадратов вариантов: $C_v = (\sum V^2) : n - c = (324,9^2 + 378,0^2 + 379,3^2) : 4 - 97596,40 = (105560,01 + 142884,00 + 143868,49) : 4 - 97596,40 = 98078,13 - 97596,40 = 481,73$.

Остаток (ошибка): $C_z = C_\gamma - C_p - C_v = 606,32 - 102,69 - 481,73 = 21,9$.

Расчетные данные заносятся в таблицу 32.

32. Дисперсионный анализ сбора сухого вещества травосмесей многолетних трав

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fфакт.	F ₀₅ теор.
Учет 2021 года					
Общая	246,69	11	—	—	—
Повторений	36,67	3	—	—	—
Вариантов	208,75	2	104,44	497,33	5,14
Остаток (ошибки)	1,27	6	0,21	—	—
Учет 2022 года					
Общая	102,15	11	—	—	—
Повторений	18,95	3	—	—	—
Вариантов	67,79	2	33,90	13,19	5,14
Остаток (ошибки)	15,41	6	2,57	—	—
В сумме за два года					
Общая	606,32	11	—	—	—
Повторений	102,69	3	—	—	—
Вариантов	481,73	2	240,87	65,99	5,14
Остаток (ошибки)	21,9	6	3,65	—	—

В данном примере $F_{\text{факт.}}$ на уровне достоверности $P_{0,95}$ превышает F_{05} теор., следовательно различия между вариантами существенны.

Для оценки существенных различий определяют:

– ошибку опыта: $S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2z}{n}}$,

– ошибку разности средних: $Sd = \sqrt{\frac{2S^2z}{n}}$,

– наименьшую существенную разность (НСР) для 0,05 или 0,01 уровня значимости: $НСР_{05} = t_{05} \cdot Sd$, $НСР_{01} = t_{01} \cdot Sd$.

Теоретическое значение критерия Стьюдента (t-критерий) определяют по соответствующей таблице по числу степеней свободы остатка (Sz) и необходимого уровня значимости (0,05 или 0,01). В данном примере число степеней свободы 6.

Данные 2021 года:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2z}{n}} = \sqrt{\frac{0,21}{4}} = 0,23 \text{ ц,}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{2S^2z}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,21}{4}} = 0,32 \text{ ц,}$$

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot Sd = 2,45 \cdot 0,32 = 0,78 \text{ ц,}$$

$$НСР_{01} = t_{01} \cdot Sd = 4,03 \cdot 0,32 = 1,29 \text{ ц.}$$

Данные 2022 года:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2z}{n}} = \sqrt{\frac{2,57}{4}} = 0,80 \text{ ц,}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{2S^2z}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,57}{4}} = 1,13 \text{ ц,}$$

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot Sd = 2,45 \cdot 1,13 = 2,77 \text{ ц,}$$

$$НСР_{01} = t_{01} \cdot Sd = 4,03 \cdot 1,13 = 4,56 \text{ ц.}$$

В сумме за два года:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2z}{n}} = \sqrt{\frac{3,65}{4}} = 0,96 \text{ ц,}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{2S^2z}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,65}{4}} = 1,36 \text{ ц,}$$

$$НСР_{05} = t_{05} \cdot Sd = 2,45 \cdot 1,36 = 3,33 \text{ ц,}$$

$$НСР_{01} = t_{01} \cdot Sd = 4,03 \cdot 1,36 = 5,48 \text{ ц.}$$

Результаты опыта и статистического анализа размещают в итоговой таблице 33.

33. Сбор сухого вещества травосмесей многолетних трав

Год	Варианты (травосмеси)	Средний сбор сухого вещества	Разность с контроля, ц/га	НСР		Группа	
				05	01	НСР ₀₅	НСР ₀₁
2021	1 (контроль)	41,4	—	0,8	1,3	контроль	
	2-й	48,9	7,5			I	I
	3-й	51,1	9,7			I	I
2022	1 (контроль)	39,9	—	2,8	4,6	контроль	
	2-й	45,6	5,7			I	I
	3-й	43,8	3,9			I	II
В сумме за 2 года	1 (контроль)	81,3	—	3,3	5,5	контроль	
	2-й	94,5	13,2			I	I
	3-й	94,9	13,6			I	I

Данные итоговой таблицы показывают, что по сравнению с контролем изучаемые травосмеси по годам пользования и в сумме за два года обеспечивают более высокий сбор сухого вещества с вероятностью 99 %. Однако различия в продуктивности изучаемых травосмесей (варианты 2 и 3) незначительны.

При обработке многолетних данных, полученных в длительных стационарных опытах (севообороты, удобрения, обработка почвы и др.), их целесообразно группировать по годам с учетом погодных условий. Статистический анализ данных по годам (влажные теплые, влажные холодные, сухие теплые, сухие холодные и т. д.) значительно повышает информативность изучаемых систем и технологий, расширяет географические границы адаптации их в конкретных производственных условиях.

Порядок статистической обработки двухфакторного опыта приводится на примере полевого опыта, в котором изучалась густота стояния растений (табл. 34) самоопыленной линии кукурузы ВИР 44 на различных фонах удобрений (Д. С. Филев и др., 1980).

**34. Урожай зерна самоопыленной линии кукурузы ВИР 44
в зависимости от густоты растений и удобрения, ц/га**

Фон удобрений	Густота стояния растений, тыс./га	Повторность				Сумма по вариантам, S	Среднее X
		I	II	III	IV		
Без удобрений	30	35,3	37,2	38,3	38,1	150,8	37,7
	40	44,0	40,2	42,2	45,3	171,7	42,8
	50	45,7	42,8	44,6	48,0	181,2	45,3
	60	46,0	44,8	48,8	48,8	188,5	47,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30	41,8	38,0	41,2	40,6	161,7	40,4
	40	48,4	50,3	50,8	44,8	184,5	48,6
	50	57,4	52,4	53,6	48,7	212,1	53,0
	60	57,2	54,4	51,7	53,5	216,8	54,2
Сумма по повторностям ΣP		375,9	360,3	372,3	369,9	1478,4	X ₁ = 46,2 A = 46

Статистическая обработка результатов опыта состоит из четырех этапов.

Первый этап. На основании данных урожайности составляют таблицу отклонений от условного начала A (табл. 35).

35. Отклонения от условного начала A = 46

Фон удобрений	Густота стояния растений, тыс./га	Повторность				Сумма
		I	II	III	IV	
Без удобрений	30	-10,7	-8,8	-6,7	-6,9	-33,1
	40	-2,0	-5,8	-3,8	-0,7	-12,3
	50	-0,3	-3,1	-1,4	+2,0	-2,8
	60	0	-1,1	+2,8	+3,8	+5,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30	-4,1	-8,0	-4,8	-5,4	-22,3
	40	+2,4	+4,3	+4,9	+1,1	+10,5
	50	+11,4	+6,4	+7,6	+2,5	+28,1
	60	+11,2	+3,4	+5,6	+7,5	+32,8
ΣP		+7,9	-7,7	+4,3	+1,9	q = +6,4

Минус построение таблицы квадратов отклонений, определяют те величины, на основе которых составляют таблицу дисперсионного анализа.

$$\sum x^2 = (-10,7)^2 + (-8,8)^2 + (-6,7)^2 + \dots + (+7,5)^2 = 1078,34,$$

$$\sum P^2 = (+7,9)^2 + (-7,7)^2 + (+4,3)^2 + (+1,9)^2 = 143,8,$$

$$\sum S^2 = (-33,1)^2 + (-12,3)^2 + \dots + (32,8)^2 = 3757,98,$$

$$q^2 = (+6,4)^2 = 40,96 \ell = 8 \quad n = 4.$$

По формулам дисперсионного анализа вычисляют суммы квадратов и число степеней свободы всех дисперсий.

Суммы квадратов дисперсий:

корректирующий фактор $C = (q^2) : N = (6,4)^2 : 32 = 1,28,$

а) общая $= \sum x^2 - \frac{q^2}{N} = 1079,334 - \frac{40,96}{32} = 1078,06,$

б) повторностей $= \sum p^2 - \frac{q^2}{n} : \ell = (143,8 - \frac{40,96}{4}) : 8 = 16,76,$

в) вариантов $= (\sum S^2 - \frac{q^2}{\ell}) : n = (3767,88 - \frac{40,96}{8}) : 4 = 938,22,$

г) ошибки $a - (б + в) = 1078,06 - (16,70 + 938,22) = 123,14.$

Число степеней свободы дисперсий:

а) общая $= N - 1 = 8 \times 4 - 1 = 31,$

б) повторностей $= n - 1 = 4 - 1 = 3,$

в) вариантов $= \ell - 1 = 8 - 1 = 7,$

г) ошибки $= (\ell - 1) \times (n - 1) = (8 - 1) \times (4 - 1) = 21.$

Эти данные позволяют построить начальную таблицу дисперсионного анализа (табл. 36).

36. Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов дисперсий	Число степеней свободы	Средний квадрат (q^2)	Критерий Фишера F	
				Fфакт.	F табл. 0,95
Общая	1078,06	31	—	—	—
Повторностей	16,70	3	—	—	—
Вариантов	938,22	7	134,03	22,87	2,49
Ошибки	123,14	21	5,86	—	—

Средние квадраты дисперсии вариантов и ошибки определяют путем деления суммы квадратов на число степеней свободы. Средний квадрат дисперсии вариантов $= 938,22 : 7 = 134,03.$ Средний квадрат дисперсии ошибки $= 123,14 : 21 = 5,86.$

$$F \text{ факт.} = \frac{134,03}{5,86} = 22,87.$$

По таблице находим значение $F_{0,95}$ табл. по числу степеней свободы вариантов и ошибок.

Полученное $F_{\text{факт.}}$ (22,87) больше $F_{\text{табл.}}$ (2,49) при уровне значимости 0,95 и, следовательно, между вариантами опыта имеются существенные различия. Но дисперсия вариантов смешанная, она отражает влияние двух факторов (фона удобрений и густоты стояния растений) и взаимодействия между ними.

Второй этап. Оценка существенности влияния главных факторов (фоны и густоты) и их взаимодействия. Необходимо разложить смешанную дисперсию на составные части.

Для этого составляют таблицу, в которую заносят суммы отклонений поделяночных урожаев от условного начала по фонам и густотам (табл. 37).

37. Суммы отклонений по фонам удобрений и густоте стояния растений

Фон удобрений	Густота стояния растений, тыс./га				Сумма фонов, S_{Φ}
	30	40	80	80	
Без удобрений	-33,1	-12,8	-2,8	+5,5	-42,7
$N_{60}P_{60}K_{60}$	-22,3	+10,5	+28,1	+32,8	+49,1
S_{Γ}	-55,4	-1,8	+25,3	+38,3	+6,4

Внутренняя часть таблицы представляет собой дисперсию вариантов, которую необходимо разложить на три части: фон удобрений, густота стояния растений и остаточную — дисперсию взаимодействия фона и густоты.

Дисперсия вариантов известна (см. табл. 35) и составляет 938,22.

Дисперсию главного эффекта фона удобрений рассчитывают по формуле:

$$\frac{(\sum S_{\Phi}^2 - \frac{q^2}{\text{количество фонов}} - \frac{q^2}{\text{количество повторностей}}) : \text{количество густот}}{4} = \frac{(4234,10 - \frac{40,96}{2}) : 4}{4} = 263,35;$$

$$\sum S_{\Phi}^2 = (42,7)^2 + (+49,1)^2 = 4234,10.$$

Дисперсию главного эффекта густоты растений вычисляют по формуле:

$$\frac{(\sum S_{\Gamma}^2 - \frac{q^2}{\phi} - \frac{q^2}{\text{количество густот}}) : \text{количество фонов}}{\text{количество повторностей}} = \frac{(5179,380 - \frac{40,96}{2}) : 2}{4} = 646,145;$$

$$\sum S_{\Gamma}^2 = (-55,4)^2 + (-1,8)^2 + (+25,3)^2 + (+38,3)^2 = 5179,38.$$

Дисперсию взаимодействия определяют вычитанием из дисперсии вариантов суммы дисперсий фона и густоты: $938,22 - (283,35 + 646,14) = 28,73$.

По полученным данным составляют таблицу дисперсионного анализа (табл. 38).

38. Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов дисперсий	Число степеней свободы	Средний квадрат
Вариантов (из табл. 35)	938,22	7	—
Фактора фона удобрений	263,35	1	—
Фактора густоты растений	246,14	3	—
Взаимодействия фона и густоты	28,73	3	9,58

Третий этап. Определение ошибок опыта. Рассматриваемый опыт поставлен по типу «расщепленных делянок», то есть четыре соседние делянки (по 70 м²) размещены на одном фоне удобрений (280 м²), но имеют разную густоту стояния растений. Таким образом, один из факторов (в рассматриваемом опыте фон) размещают на увеличенных делянках первого порядка, которые делят на делянки второго порядка для размещения в них градаций второго фактора (густоты). В опыте, поставленном по такой схеме, существует две ошибки: одна для того фактора, который изучают на делянках первого порядка, и вторая — для фактора, который занимает более мелкие делянки второго порядка, и для взаимодействия этих двух факторов. Поэтому приведенная в таблице 35 остаточная сумма квадратов 123,14 с 21 степенью свободы должна быть разложена на две части. Одна из них определяет экспериментальную ошибку делянок первого порядка и дает возможность оценить существенность различий между фонами, а вторая — ошибку делянок второго порядка и позволяет оценить существенность различий урожаев

при разной густоте стояния растений и различия во влиянии фона удобрений при изменении густоты (взаимодействие фона — густоты).

Для определения дисперсии ошибки делянок первого порядка составляют таблицу, в которую записывают отклонения по фонам и повторностям (табл. 39).

39. Отклонения по фонам и повторностям

Фон удобрений	Повторность				Сумма
	I	II	III	IV	
Без удобрений	-13,0	-18,8	-9,1	-1,8	-42,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	+20,9	+11,1	+13,4	+3,7	+49,1
Сумма по повторностям S _p	+7,9	-7,7	+4,3	+1,9	+6,4

Внутренняя часть табл. 38 представляет собой варьирование делянок первого порядка:

$$\sum x^2 = (-13,0)^2 + (-18,8)^2 + \dots + (+3,7)^2 = 1381,76.$$

Сумму квадратов общей дисперсии делянок первого порядка определяют по формуле: $(\sum x^2 - \frac{q^2}{N}) : 4$ (число делянок второго порядка, из которых состоит делянка первого порядка) = $(1361,76 - \frac{40,96}{2 \cdot 4}) : 4 = 339,16$, где в знаменателе 2 – число фонов, 4 – число повторностей.

Составляют таблицу дисперсионного анализа делянок первого порядка (табл. 40).

40. Таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат
Общая (делянок 1-го порядка)	339,16	7	—
Повторностей (из табл. 35)	16,70	3	—
Фонов (из табл. 35)	263,35	1	—
Ошибки 1-го порядка	59,11	3	19,70

Дисперсию ошибки делянок второго порядка определяют вычитанием из общей дисперсии (табл. 35) дисперсии делянок первого порядка. В данном случае она равна: $123,14 - 59,11 = 84,03$. Число степеней свободы: $21 - 3 = 18$.

Четвертый этап. На основании приведенных выше расчетов составляют сводную таблицу дисперсионного анализа (табл. 41).

41. Сводная таблица дисперсионного анализа

Дисперсия	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	
				Fфакт.	Fтабл.0,95
Общая (из табл. 36)	1078,06	31	—	—	—
Повторностей (из табл. 36)	16,70	3	—	—	—
Фонов (из табл. 38)	263,35	1	263,35	13,37	10,13
Ошибки I порядка (из табл. 40)	59,11	3	19,70	—	—
Густот (из табл. 38)	246,14	3	215,36	60,49	3,16
Взаимодействия фона и густоты (из табл. 38)	28,73	3	9,58	2,69	3,16
Ошибка II порядка	64,03	18	3,56	—	—
$F_{\text{факт.}} \text{ (для фонов)} = 263,35 : 19,7 = 13,37$					
$F_{\text{факт.}} \text{ (для густот)} = 215,36 : 3,56 = 60,49$					
$F_{\text{факт.}} \text{ (для взаимодействия)} = 9,58 : 3,56 = 2,69$					

Из данных таблицы 40 видно, что факторы фона удобрений и густоты стояния растений дают существенные различия, их взаимодействия — несущественные.

Оценка различий в опыте. Различия между средними урожаями оценивают путем группировки. Для этого необходимо определить три критерия существенности (наименьшей существенной разности — НСР).

1. Критерий существенности для фонов:

$$E_1 = \sqrt{\frac{\text{средний квадрат ошибки первого порядка}}{n \text{ (число повторений)} \times \text{число градаций второго фактора}}} = \sqrt{\frac{19,7}{4 \times 4}} = 1,11 \text{ ц/га,}$$

$$E_d = E_1 = \sqrt{\frac{\text{число фонов} - 1}{\text{число фонов}}} = 1,11 \sqrt{\frac{2-1}{2}} = 0,777 \text{ ц/га},$$

$$НСР_{0,95} = t_{0,95} \times E_d = 3,182 \times 0,777 = 2,5 \text{ ц/ га.}$$

2. Критерий существенности для густоты:

$$E_2 = \sqrt{\frac{\text{средний квадрат ошибки второго порядка}}{n \times \text{число градаций первого фактора}}} = \sqrt{\frac{3,56}{4 \times 2}} = 0,67 \text{ ц/га},$$

$$E_d = E_2 = \sqrt{\frac{\text{число густот} - 1}{\text{число густот}}} = 1067 \sqrt{\frac{4-1}{4}} = 0,58 \text{ ц/га},$$

$$НСР_{0,95} = t_{0,95} \times E_d = 2,1 \times 0,58 = 1,2 \text{ ц/ га.}$$

3. Критерий существенности для взаимодействия «фон–густота».

$$E_2 = \sqrt{\frac{\text{средний квадрат ошибки второго порядка}}{n}} = \sqrt{\frac{3,56}{4}} = 0,94 \text{ ц/га},$$

$$E_d = E_3 \sqrt{2} = 0,94 \times 1,41 = 1,32 \text{ ц/га};$$

$$НСР_{0,95} = t_{0,95} \times E_d = 2,1 \times 1,32 = 2,8 \text{ ц/ га};$$

$t_{0,95}$ устанавливаются по числу степеней свободы ошибок.

Различия факторов оценивают относительно среднего урожая в опыте (независимо от того, есть контроль или нет), а различия взаимодействия — или к контролю (если он есть) или к среднему урожаю в опыте. Принцип группировки вариантов по урожайности такой же, как и при дисперсионном анализе однофакторного опыта. Результаты группировок приведены в таблицах 42 и 43.

42. Группировка вариантов по фонам и густотам

Фон удобрений	Густота стояния растений, тыс./ га				Среднее	Отклонения	Группы
	30	40	50	60			
Без удобрений	37,7	42,9	45,3	47,4	43,3	-2,9	III
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	40,4	48,6	53,0	54,2	49,1	+2,9	I
Среднее	39,0	45,8	49,2	50,2	46,2	—	—
Отклонения	-7,2	-0,4	+3,0	+4,6	—	—	—
Группы	III	II	I	I	—	—	—
НСР _{0,95} (для фонов) – 2,5 ц/га; НСР _{0,95} (для густот) – 1,2 ц/га							

**43. Группировка вариантов по взаимодействию «фона–густоты»
от среднего урожая (46,2 ц/ га)**

Фон удобрений	Густота стояния растений, тыс./га			
	30	40	50	60
Без удобрений	III	III	II	II
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	III	II	I	I
НСР _{0,95} = 2,8 ц/га				

Ошибку для всего опыта (точность опыта) определяют по формуле:

$$P = \frac{\sqrt{\frac{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2}{3} \cdot 100}}{X} = \frac{\sqrt{\frac{1,11^2 + 0,67^2 + 0,94^2}{3} \cdot 100}}{46,2} = 2\%$$

15.4. Корреляция и регрессия

В точных исследованиях физических и других свойств между данными существует функциональная связь, когда одному значению аргумента (X) соответствует одно определенное значение функции (Y). В сельскохозяйственных полевых опытах функциональная связь практически не встречается, а имеет место корреляционная (вероятностная или стохастическая) связь, когда одному конкретному значению аргумента (X) соответствует приближенное значение (Y = f(x) или некоторое множество значений функции (Y = f(x, z, v ...)), в той или иной степени близких друг к другу.

Корреляции подразделяют по направлению, форме и числу связей.

По направлению: прямая и обратная. При прямой — с увеличением признака X увеличивается значение Y. Так, с увеличением дозы азотных удобрений на посевах злаковых видов увеличивается содержание протеина.

При обратной — с увеличением значения признака X значение признака Y уменьшается. Например, с увеличением густоты стояния растений кукурузы на единице площади содержание в растительной массе сухого вещества снижается.

По форме корреляция: линейная и криволинейная. При линейной корреляции зависимость между признаками X и Y носит линейный характер и выражается уравнением прямой линии:

$$Y = a + bx.$$

При криволинейной корреляции значения X и Y изменяются сначала в одном направлении, а затем в противоположном. Так, при возрастающих дозах азотных удобрений продуктивность культур возрастает, стабилизируется, а затем снижается.

Линейная связь выражается коэффициентом корреляции (r), а криволинейная — корреляционными отношениями (η).

По числу связей корреляция может быть простой и множественной.

Простая — связь между двумя, множественная — между тремя и более признаками (дозы удобрений, нормы посева и др.)

По силе связей корреляция бывает сильной, средней, слабой; достоверной и недостоверной.

При сильной и достоверной связи на уровнях вероятности $P_{0,95}$ или $P_{0,99}$ проводят регрессивный анализ: определяют характер и степень изменения одного из признаков (X) на единицу изменения другого (Y).

Такая связь выражается уравнением регрессии (корреляционным уравнением). Под регрессией понимается изменение параметров признака Y (функции) при изменении одного или нескольких параметров X (аргумента).

При простой регрессии уравнение между аргументом и функцией выражается соотношением $Y = f(x)$; при множественной $Y = f(x, z, v \dots)$. Анализ тесноты связи проводится по коэффициентам корреляции и корреляционным отношениям.

Уравнения регрессии, разработанные на основе большого массива данных при высокой степени связи между признаками, могут использоваться для определения неизвестных показателей по известному (прогнозированию продуктивности культур по содержанию в почве питательных веществ, влаги, погодных условий и т. д.; качеству растительного сырья в зависимости от режима питания и увлажнения и т. д.; распространению вредителей, болезней и сорняков по погодным условиям и т. д.).

Применение методов корреляции, регрессии и дисперсионного анализа для уточнения экспериментальных данных называется ковариационным (корреляция, вариация) анализом.

В данной работе представлена методика расчета линейной корреляции и регрессии, наиболее часто применяемая в полевых опытах с кормовыми культурами.

Линейная корреляция выражается уравнением прямой линии

$$Y = a + bx.$$

Линейная регрессия Y на X показывает, как изменяется в среднем величина Y при изменении величины X . Корреляция и регрессия положительная или прямая, если при увеличении x величина Y увеличивается; отрицательная или обратная, если при увеличении x значение Y уменьшается.

Линейную корреляцию между x и Y проводят на основе парных сравнений n -го числа независимых парных наблюдений (x_1 и Y_1 ; x_2 и Y_2 ; x_3 и Y_3 и т.д.).

По этим сравнениям определяют эмпирические коэффициенты корреляции и регрессии, рассчитывают уравнение регрессии, теоретическую линию регрессии, оценивают достоверность полученных результатов.

Коэффициент корреляции (r) — безразмерная величина, изменяющаяся в границах $-1 < r < +1$, определяется по формуле:

$$r = \frac{\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{x})^2 \sum(Y - \bar{y})^2}}.$$

В том случае если нет необходимости вычислять отклонения и квадраты отклонений коэффициент корреляции вычисляется по формуле:

$$r = \frac{\sum XY - (\sum X \sum Y) : n}{\sqrt{\sum X^2 - (\sum X)^2 : n} (\sum Y^2 - (\sum Y)^2 : n)}.$$

Корреляционная связь переходит в функциональную, если величине X соответствует только определенное значение Y . При этом коэффициенты корреляции равны $+1$ или -1 . В полевых агрономических опытах функциональная связь проявляется крайне редко.

Принято считать, что при $r < 0,3$ корреляционная зависимость между признаками слабая, $r = 0,3-0,7$ — средняя, при $r > 0,7$ — сильная.

Коэффициент детерминации (d_{yx}), квадрат коэффициента корреляции (r^2), показывает долю (%) изменений, которые зависят от изучаемого фактора. Теория корреляции показывает, что степень сопряжения

двух величин более точно измеряется квадратом коэффициента корреляции (r^2). Так, при $r = 0,3$ не 30 % определяет изменчивость признака, а только 9 %, при $r = 0,5$ не 50 %, а только 25 %, при $r = 0,9$ не 90 %, а 81 %. Поэтому коэффициент детерминации является более объективным прямым способом выражения зависимости одной величины от другой.

Надежность коэффициента корреляции определяется по стандартной ошибке и критерию существенности.

Стандартная ошибка (Sr) определяется по формуле:

$$Sr = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}},$$

где Sr – ошибка коэффициента корреляции;

r – коэффициент корреляции;

n – число пар значений, по которым определен коэффициент корреляции.

Критерий существенности коэффициента корреляции определяют по формуле:

$$t_r = \frac{r}{Sr}.$$

Теоретическое значение ($t_{r \text{ теор.}}$) определяют по таблице Стьюдента при 5%-ном или 1%-ном уровне значимости и числе свободы, равным $n - 2$. В том случае, если $t_{r \text{ факт.}} > t_{r \text{ теор.}}$ корреляционная связь существенна, при $t_{r \text{ факт.}} < t_{r \text{ теор.}}$ — несущественная.

Для определения изменения количественных параметров признака в зависимости от изучаемого фактора применяется регрессионный анализ.

Уравнение линейной регрессии:

$$Y = \bar{y} - b_{xy}(X - \bar{x}),$$

где \bar{x}, \bar{y} – средние арифметические для ряда X и Y ;

b_{xy} – коэффициент регрессии Y по X .

Коэффициент регрессии вычисляют по формулам:

$$b_{yx} = \frac{\sum(x - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum(X - \bar{x})^2} \text{ и } b_{xy} = \frac{\sum(x - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sum(Y - \bar{y})^2}.$$

Коэффициент регрессии b_{yx} показывает, как изменяется Y при изменении X на единицу измерения и выражается в единицах Y ; b_{xy} — как изменяется X при изменении Y и выражается в единицах X . При изуче-

нии односторонней зависимости (корреляция между урожаем и количеством выпавших осадков, теплообеспеченности, дозами удобрений и т. д.) определяется только один коэффициент регрессии результативного признака Y на факториальный X (b_{xy}).

Коэффициент линейной регрессии — число показывающее, в каком направлении и на какую величину изменяется в среднем признак Y (функция) при изменении признака X (аргумента) на единицу измерения.

Произведение коэффициентов регрессии равно квадрату коэффициента корреляции:

$$B_{yx} \cdot b_{xy} = r^2.$$

Такое соотношение можно применять для проверки расчетов.

Ошибка коэффициента регрессии определяется по формуле:

$$S_{b_{yx}} = Sr \sqrt{\frac{\sum(Y - \bar{y})^2}{\sum(X - \bar{x})^2}} \text{ и } S_{b_{xy}} = Sr \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{x})^2}{\sum(Y - \bar{y})^2}}$$

Критерий существенности коэффициента регрессии—по формуле:

$$t_b = \frac{b}{Sb}.$$

Существенность коэффициента регрессии оценивают по таблице Стьюдента; число степеней свободы равно $n - 2$, где n — количество пар, по которым определялись коэффициенты корреляции.

Коэффициенты корреляции можно использовать для оценки значимости коэффициента регрессии, поскольку $t_b = t_r$.

Наряду с цифровым и табличным материалом, корреляции более наглядно представлять графически в виде линий регрессии. Для построения графика на оси абсцисс откладывают значения X , на оси ординат — значение признака Y ; каждое наблюдение над двумя переменными отмечают точками с координатами X, Y (точечная диаграмма или корреляционное поле). Точечная диаграмма не позволяет с достаточной объективностью определить любое значение результативного признака Y по заданному значению X . Поэтому необходимо устранить случайные отклонения точечной диаграммы теоретической линией регрессии. Выравнивают эмпирические ряды графически и аналитически. Графический метод применяется, когда необходимо выявить общую тенденцию корреляционной зависимости или для выявления направления и формы

корреляции. Поэтому применяется аналитический метод, позволяющий определить теоретическую линии регрессии. На рисунке 29 представлена регрессия точечная и аналитическая, выраженная уравнением $Y = a + bx$.

Прямая линия на рисунке 29 проходит через точку Р, которая соответствует средним \bar{x} и \bar{y} , имеет наклон, определяемый в единицах Y на единицу X.

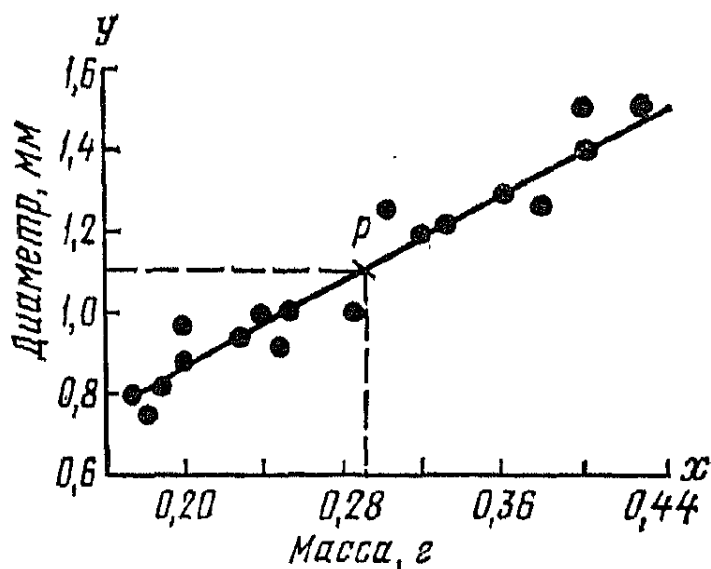


Рис. 29. Зависимость между массой и диаметром стеблей льна-долгунца (Б. А. Доспехов, 1979)

Порядок построения теоретической линии регрессии Y на X следующий:

- по исходным данным вычисляют средние (\bar{x} , \bar{y}) и коэффициент регрессии (b_{yx});
- найденные значения подставляют в уравнение линейной регрессии: ($Y = \bar{y} - b_{yx}(X - \bar{x})$);
- определяют форму прямой линии, которая примет общий вид: ($Y = a + bx$);
- по уравнению находят средние теоретические значения \bar{y}_x для двух крайних значений ряда x;

- точки $(X_{\min}; \bar{Y}_{\min})$ и $(X_{\max}; \bar{Y}_{\max})$ наносят на ординаты;
- отмеченные точки соединяют прямой, которая является теоретической линией регрессии Y по X .

Достоверность полученных результатов можно оценивать дисперсионным анализом.

В качестве примера приводится корреляционный анализ между общей скважностью и скважностью аэрации среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы. Данные получены в длительном стационарном опыте с севооборотами (табл. 44).

44. Порядок расчета величин для определения корреляции и регрессии Y на X

№ пары	Параметры признака: скважность, %		X^2	Y^2	XY
	общая (X)	аэрации (Y)			
1	48,68	16,08	2369,7	258,6	782,8
2	49,62	16,63	2462,1	276,6	852,2
3	53,58	19,48	2870,8	379,4	1043,7
4	51,88	19,29	2691,5	372,1	1000,8
5	51,32	22,17	2633,7	406,8	1035,1
6	49,25	17,31	2425,5	299,6	852,5
7	50,19	19,35	2519,0	374,4	971,2
8	51,88	19,50	2691,5	380,3	1011,7
9	52,77	22,25	2784,6	495,1	1174,1
10	52,92	22,13	2800,5	489,7	1171,1
11	50,92	22,83	2592,8	521,2	1162,5
12	52,19	20,38	2723,8	415,3	1063,6
Сумма	$\sum X = 615,2$	$\sum Y = 235,4$	$\sum X^2 = 31565,5$	$\sum Y^2 = 4669,1$	$\sum XY = 12094,3$

1. Определяются вспомогательные величины:

– количество степеней свободы: $n - 2 = 12 - 2 = 10$,

– средние значения \bar{x} и \bar{y} :

$$\bar{x} = (\sum x) : n = 615,2 : 12 = 51,3,$$

$$\bar{y} = \sum(Y) : n = 253,4 : 12 = 19,6.$$

Дисперсия:

$$\sum(X - \bar{x})^2 = \sum x^2 - (\sum x)^2 : n = 31565,5 - (615,2)^2 : 12 = 26,2,$$

$$\Sigma(Y - \bar{y}) = \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2 : n = 4669,1 - (235,4)^2 : 12 = 51,3,$$

$$\Sigma(X - \bar{x})(Y - \bar{y}) = \Sigma XY - (\Sigma x \Sigma Y) : n = 12094,3 - (615,2 \cdot 235,4) : 12 = 26,1.$$

2. Коэффициент корреляции регрессии и уравнение регрессии:

$$\text{– коэффициент корреляции: } r = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{x})^2 \Sigma(Y - \bar{y})^2}} = \frac{26,2}{\sqrt{26,2 \cdot 51,3}} = \frac{26,2}{36,7} = 0,71,$$

$$\text{– коэффициент детерминации: } B_{yx} = r^2 = 0,71^2 = 0,50,$$

$$\text{– коэффициент регрессии: } b_{xy} = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\Sigma(X - \bar{x})^2} = \frac{26,1}{26,2} = 0,99,$$

– уравнение регрессии:

$$Y = \bar{y} + b_{xy}(X - \bar{x}) = 19,6 + 0,99(x - 51,3) = 19,6 + 0,99x - 50,8 = 0,99x - 31,2, \quad Y = 0,99x - 31,2.$$

3. Определение ошибки, критерия значимости и доверительного интервала:

– ошибка коэффициента корреляции:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,71^2}{12 - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,50}{10}} = \sqrt{\frac{0,5}{10}} = \sqrt{0,05} = 0,22\%,$$

– ошибка коэффициента регрессии:

$$S_b = S_r \sqrt{\frac{\Sigma(Y - \bar{y})^2}{\Sigma(X - \bar{x})}} = 0,22 \sqrt{\frac{51,3}{26,2}} = 0,22 \cdot 1,40 = 0,31\%,$$

$$S_{yx} = S_r \sqrt{\Sigma(Y - \bar{y})^2} = 0,22 \sqrt{51,3} = 0,22 \cdot 7,16 = 1,58\%,$$

$$\text{– доверительный интервал: } t_r = \frac{r}{S_r} = \frac{0,71}{0,22} = 3,23,$$

t-критерий Стьюдента, $V = n - 2 = 12 - 2 = 10$, $t_{05} = 2,23$, $t_{01} = 3,17$.

– доверительный интервал для коэффициентов корреляции (r) регрессии (b_{xy}): $r \pm t_{05} \cdot S_r = 0,71 \pm 2,23 \cdot 0,22 = 0,71 \pm 0,49$ (0,25 : 1,20),

$$b_{xy} \pm t_{05} \cdot S_p = 0,99 \pm 2,23 \cdot 0,312 = 0,99 \pm 0,69$$
 (0,30 : 1,68).

По t-критерию Стьюдента ($t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$) и доверительным интервалам, корреляция и регрессия значима на 5%-ном уровне, т. е. нулевая гипотеза отвергается.

4. Определение усредненных теоретических значений Y для экспериментальных величин X (минимальных и максимальных) по уравнению $Y = 0,99 \cdot x - 31,2$.

$$Y_{x_{\min}} 48,68 = 0,99 \times 48,68 - 31,2 = 16,99 \%,$$

$$Y_{X_{\max}} 53,58 = 0,99 \times 53,58 - 31,2 = 21,8 \%$$

5. Построение точечного графика и теоретической линии регрессии прямой корреляции между общей скважностью и скважностью аэрации.

Определенные минимальные и максимальные точки значений Y и X наносят на график и получают теоретическую линию, соединяя их прямой. На графике целесообразно также указать доверительную зону для истинной линии регрессии, для чего вверх и вниз от теоретической линии регрессии отложить величину одной ($\pm S_{yx}$) или двух ($\pm 2S_{yx}$) ошибок отклонений от регрессии (S_{yx}) и соединить найденные точки пунктирными линиями. Площадь между пунктирными линиями является доверительной зоной регрессии. Одновременно наносят фактические данные, получая точечный график (рис. 30).

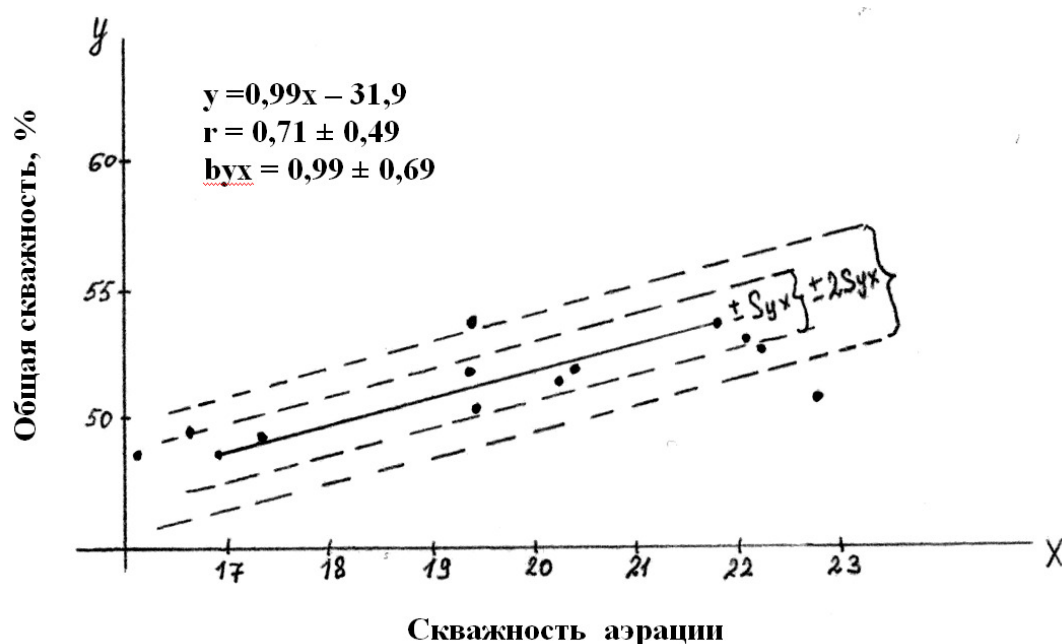


Рис. 30. Точечный график и теоретическая линия регрессии при прямолинейной корреляции общей скважности и скважности аэрации дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы

На данном рисунке пунктирными линиями ограничены 67%-ная ($\pm S_{yx}$) и 92%-ная доверительные зоны для положения практической линии регрессии.

Для проведения дисперсионного анализа, который позволяет проверить нулевую гипотезу об отсутствии линейной связи Y с X , общую сумму квадратов $\sum(Y-y)^2$ можно разложить на два компонента, сумму квадратов для регрессии S_b и сумму квадратов отклонения от регрессии S_{bux} (табл. 45):

– сумма квадратов для регрессии:

$$S_b = \frac{[\sum(X - \bar{x})(Y - \bar{y})]^2}{\sum(X - \bar{x})^2} = \frac{26,1^2}{26,2} = \frac{681,1}{26,2} = 26,0,$$

– сумма квадратов отклонений от регрессии S_{bux} :

$$S_{bux} = \sum(Y - y)^2 - S_b = 51,3 - 26,0 = 25,3,$$

$$t_{\text{факт}} = \frac{26,0}{2,53} = 10,3.$$

45. Дисперсионный анализ проверки нулевой гипотезы

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{теор.}}$
Общая	51,3	11	—	—	—
Регрессия	26,0	1	26,0	10,3	4,96
Отклонения от регрессии	25,3	10	2,53	—	—

В данном примере $t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$. Следовательно, отклонения от прямой линейной зависимости связано со случайным варьированием и нулевая гипотеза об отсутствии связи между Y и X отвергается.

По среднему квадрату отклонения от регрессии $S^2_{bux} = 2,53$ можно проверить правильность вычисления ошибки и отклонения от регрессии

$$S_{yx}: S_{yx} = \sqrt{2,53} = 1,59\%.$$

В опытной работе с кормовыми культурами могут также применяться частная и множественная корреляция и регрессия, криволинейная корреляция и регрессия, ковариация.

Множественная корреляция — на величину результативного признака одновременно влияют несколько факторов (густота стояния растений и удобрений; удобрения и орошение и т. д.).

Криволинейная корреляция и регрессия существенно отличаются от линейной. Показателем криволинейной зависимости является не коэффициент корреляции, а корреляционное отношение (η).

Ковариация — одновременный анализ сумм квадратов и сумм произведения отклонений двух или более переменных от их средних. Применяется для планирования и статистической обработки результатов опыта для уменьшения ошибки данных, не поддающихся непосредственному контролю (выравниванию).

Данные методы анализа экспериментальных данных подробно изложены в работах Б. А. Доспехова (Методика полевого опыта. М. : Колос, 1979), В. В. Глуховцева, В. Г. Кириченко, С. Н. Зудилина (Практикум по основам научных исследований в агрономии. Самара, 2005), Дж. У. Снедекора (Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М., 1961).

16. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экономическая оценка результатов научных исследований осуществляется на основе сравнения натуральных и стоимостных показателей нового варианта с базовым. При этом эталоном считается фактический максимально достигнутый уровень. Сопоставление проводится при равенстве всех условий, кроме полученных научных результатов при изучении опытов с полевыми кормовыми культурами.

Для определения экономической эффективности новых агроприемов и агромероприятий используют систему показателей, основными из которых являются:

- выход кормов с 1 га посевной площади в натуральном и стоимостном выражении — ц; ц корм. ед.; руб.;
- себестоимость 1 ц продукции, руб.;
- трудоемкость 1 ц продукции, чел./ч;
- чистый доход, руб.;
- рентабельность, %;
- окупаемость произведенных затрат, руб.

Важнейшим показателем при этом является себестоимость кормовой продукции (зеленая масса, сено, сенаж, силос, травяная мука и др.), представляющая собой произведенные расходы денежных средств.

Затраты средств распределяются по следующим статьям:

- материальные затраты (семена, удобрения, химические средства защиты кормовых культур, горючее и пр.);
- расходы по оплате труда;
- отчисления в фонд социального страхования, медицинский и пенсионный фонды, составляющие в настоящее время 30 % расходов от общей суммы по оплате труда;
- амортизационные отчисления по имеющимся основным фондам производятся на основе балансовой стоимости и утвержденных нормативов их использования. Основные фонды делятся на группы, исчисляются в течение ряда лет — от трех и более. По фондам III группы отчисление осуществляется в течение 3–5 лет, IV группы — 5–7 и V группы — 7–10 лет.

Важной особенностью является то, что экономическая оценка отдельных агроприемов и агромероприятий производится только по прямым затратам на производство, транспортировку и хранение кормов без накладных расходов.

При проведении научных исследований по кормовым культурам на малых размерах опытных участков прямые затраты, как показывает практика, могут быть сильно завышены. В данном случае целесообразно определять прямые затраты на основе нормативных или расчетных данных, полученных расчетно-конструктивным методом факторного моделирования или методом прогнозной экстраполяции.

С этой целью можно использовать ранее разработанные типовые технологические карты по возделыванию и уборке кормовых культур с учетом использования зональных особенностей. Эксплуатационные расходы здесь рассматриваются как нормативные. В новом варианте требуется определенная корректировка нормативных затрат по результатам использования того или иного агроприема.

Производственные затраты рассчитываются в новом и базовом вариантах на основе сопоставления расчетных цен на единичный и полный объем выполненных работ.

Экономическая оценка агрономических приемов в производственных условиях и издержки производства исчисляются только по фактическим прямым затратам (табл. 46).

46. Расчет экономической эффективности производства кормов

Показатель	Вариант опыта	
	базовый	исследуемый
Урожайность продукции, ц/га		
Продуктивность, корм. ед., ц/га		
Затраты труда, чел./ч:		
на 1 га		
на 1 ц		
Издержки производства на технологические приемы:		
на 1 га, тыс. руб.		
на 1 ц/ц корм. ед., руб.		
Стоимость валовой продукции, тыс. руб./га		
Чистый доход, тыс. руб./га		
Рентабельность, %		

Стоимость валовой продукции, переведенной в кормовые единицы, определяют, как правило, по закупочной цене овса. Это связано с тем, что питательность 1 кг овса соответствует по своему уровню одной кормовой единице. В стоимость валовой продукции включают также стоимость сопряженной и побочной продукции, после ее перевода по установленным коэффициентам в основную.

Валовую кормовую продукцию, получаемую с посевных площадей в производственных условиях, оценивают по средней цене 1 ц корм. ед., которую определяют по формуле $C_{ср} = (З\beta)/P$, где $C_{ср}$ — средняя цена 1 ц корм. ед., руб.; $З$ — закупочная цена 1 ц продукции животноводства (молоко, мясо, шерсть и т. д.), руб.; P — расход кормов на получение 1 ц животноводческой продукции, ц корм. ед.; β — удельный вес кормов в себестоимости 1 ц животноводческой продукции.

Чистый доход в новом и базовом вариантах определяют как разность между стоимостью и себестоимостью (текущими производственными прямыми затратами, рассчитанными на единицу объема работ).

Степень эффективности агроприема и агромероприятия определяется рентабельностью. Рентабельность рассматривается как отношение чистого дохода к прямым производственным затратам и выражается в процентах. Формула имеет следующий вид:

$$P = \frac{ЧД}{ПЗ} \times 100,$$

где ЧД — чистый доход, руб.,

ПЗ — прямые производственные затраты, руб.;

P — рентабельность, %.

Общий экономический эффект рассматривается как дополнительный чистый доход от прибавки урожая, от применения нового агроприема и агромероприятия в производственных условиях и умноженный на общую прогнозируемую посевную площадь внедрения:

$$\text{Эф} = (Ч_{дн} - Ч_{дб}) S,$$

где $(Ч_{дн} - Ч_{дб})$ — чистый доход в новом и базовых вариантах, руб.;

S — посевная площадь, га.

Если предлагаемые мероприятия вызывают изменения только текущих производственных затрат (например, новый способ посева, сокращающий расход семенного материала), экономический эффект (Э) определяют по формуле:

$$\text{Эф} = (\text{Сб} - \text{Сн}) S,$$

где Сб – себестоимость базового варианта, руб.;

Сн – себестоимость нового варианта, руб.;

S – посевная площадь, га.

Если при внедрении новых агроприемов требуются дополнительные капитальные вложения, то их учитывают через амортизационные отчисления в производственных прямых затратах нового варианта.

Для оценки агроприемов используют также показатели снижения себестоимости и повышение производительности труда. Снижение себестоимости определяются по формуле:

$$\Delta C = \frac{\text{Сб} - \text{Сн}}{\text{Сб}} \cdot 100,$$

где Сб, Сн – производственная себестоимость единицы продукции в новом и базовом вариантах, руб./ц.

Повышение производительности труда ($\Delta\Pi$ %) определяют по формуле:

$$\Delta\Pi = \frac{\text{Зтб} - \text{Зтн}}{\text{Зтб}} \cdot 100,$$

где Зтб, Зтн – затраты труда в базовом и новом вариантах в расчете на единицу продукции, чел./ч.

Степень эффективности производства кормов, агроприемов выражается уровнем рентабельности. Применительно к кормопроизводству под рентабельностью или доходностью понимается отношение чистого дохода к производственным прямым затратам на корма (себестоимости).

При разработке различных мероприятий, проведении опытов следует учитывать специфические условия, возникающие при решении поставленных задач, и применять дополнительные показатели для выявления экономической эффективности.

Так, отдельный изучаемый агроприем, обеспечивающий прирост продукции при экономии затрат труда и средств на 1 га, можно оценить по показателю чистого дохода, исчисляемого как разница между стоимостью дополнительно полученной продукции и суммой затрат, связанных с проведением мероприятия. Например, при расчете экономической эффективности применения химических средств борьбы с вредителями и болезнями растений учитывают расходы на них по существующим реализационным ценам, затраты на транспортировку от поставщика в хо-

зайство и на поле, включая погрузо-разгрузочные работы, а также по хранению, приготовлению (размельчение, смешивание и др.) и внесению.

Таким образом, необходимо суммировать все затраты, связанные с применением удобрений, гербицидов и ядохимикатов в расчете на единицу площади.

Затем определяют расходы, связанные с уборкой и обработкой дополнительного урожая, полученного от применения химических средств, которые отражают затраты на прирост продукции (себестоимость). Полученный прирост урожая оценивают по существующим закупочным ценам овса. Разность между стоимостью прироста продукции и дополнительными затратами на его получение составляет дополнительный чистый доход. Затем определяют соответственно окупаемость и рентабельность затрат по применению удобрений или ядохимикатов. В таблице 47 приведена примерная схема расчета экономической эффективности различных приемов возделывания кормовых культур.

47. Экономическая эффективность приема возделывания кормовых культур

Показатель	Вариант опыта	
	контроль	исследуемый
Урожай, ц/га		
основной продукции		
побочной продукции		
Общий сбор продукции с 1 га, ц корм. ед.		
Прирост продукции с 1 га, ц корм. ед.		
Стоимость прироста продукции, тыс. руб./га		
Дополнительные затраты, связанные с проведением изучаемого приема, тыс. руб./га		
Себестоимость 1 ц корм. ед. прироста продукции (отношение суммы дополнительных затрат к приросту урожая), руб./ц корм. ед.		
Окупаемость затрат (стоимость прироста продукции, деленная на сумму дополнительных затрат), руб.		
Дополнительный чистый доход от внедрения изучаемого приема (разность между стоимостью прироста урожая и суммой дополнительных затрат), руб./га		

При этом полученные данные необходимо сравнить с нормативными сроками, чтобы установить приемлемый срок окупаемости.

Таким образом, учет и обработка экономических показателей осуществляется по каждому варианту опыта. Установлено, что при достоверности агрономических показателей продуктивности всегда достоверны и экономические.

17. МЕТОДИКА АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЙ И СЕВООБОРОТОВ

Полевое кормопроизводство, базирующееся на производстве различных групп культур (многолетние и однолетние травы, силосные, корнеплоды, зернофуражные культуры), требует значительных энергетических затрат и характеризуется интенсивным воздействием на окружающую среду. В связи с этим анализ затрат энергии и разработка принципов ресурсосбережения в полевом кормопроизводстве является приоритетным направлением научных исследований и актуальной практической задачей.

Основными направлениями ресурсосбережения являются:

– совершенствование технологий возделывания кормовых культур на основе рационального использования органических и минеральных удобрений, мелиорантов, семян, минимизации обработки почвы, средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков;

– применение технических средств нового поколения, характеризующихся высокой производительностью, совмещением и качественным выполнением технологических операций;

– оптимизация видового состава культур и их соотношения в структуре посевных площадей, обеспечивающих производство кормов требуемого качества, воспроизводство почвенного плодородия и экономию затрат невозполнимой энергии антропогенного происхождения;

– оптимизация размещения кормовых культур в системе полевых, кормовых и специальных севооборотов.

Основными показателями для проведения агроэнергетического анализа процессов в полевом кормопроизводстве являются:

1) энергетические затраты невозполнимой энергии на выращивание и уборку кормовых культур;

2) выход валовой и обменной энергии, протеина с единицы площади посева кормовых культур и севооборотов;

3) окупаемость затрат энергии, затраченной на выращивание и уборку кормовых культур, или на 1 га севооборотной площади, энергией урожая.

В экспериментальной работе научных учреждений расчет затрат совокупной энергии на изучаемые приемы и технологии возделывания культур проводится на основании фактических энергетических затрат. Расчеты проводятся по формам, представленным в таблицах 48–51. Исходные данные — в приложениях 6–14.

В таблице 48 в строгой последовательности описываются технологические операции и их параметры, определяющие уровень энергетических затрат (глубина обработки почвы, кратность операций, дозы внесения удобрений и ядохимикатов, их виды и т. д.), состав агрегатов, производительность и т. д. В одной форме возможно описание изучаемых вариантов, если они относятся к отдельным приемам, например обработке почвы, применению удобрений, уходу за посевами.

В случае, если невозможно или нет необходимости в изучении полного объема энергетических затрат на проведение технологических операций, можно пользоваться типовыми нормами выработки и расхода топлива на механизированные и конно-ручные работы применительно к конкретному региону. Для сбора таких данных составляется вспомогательная таблица. При этом указывается источник информации, а также параметры, влияющие на уровень энергетических затрат, отражающие усредненные условия объекта, где будет проводиться внедрение разработки (группа по нормам выработки, класс длины гона, класс угла склона, удельное сопротивление почвы при вспашке и т. д.).

При проведении исследований с новыми серийными или вновь созданными образцами технических средств их производительность и расход топлива определяются экспериментально или используются данные машинно-испытательных станций и учреждений-разработчиков. Пример расчета количества затраченной энергии в результате использования тракторов, сельскохозяйственных машин и орудий за 1 час работы приводится в приложении 6, энергетические эквиваленты на сельскохозяйственные машины и тракторы, энергоносители, промышленные минеральные удобрения и мелиоранты, пестициды, семена и трудовые ресурсы — в приложениях 6–9.

Например, при двукратном лущении стерни агрегат в составе трактора ДТ-75 и дискового луцильника ЛДГ-10 используется в течение 0,69 часа.

48. Схема расчета затрат совокупной энергии на технологические процессы при возделывании кормовых культур (на примере возделывания кукурузы на силос)

Технологические операции, основные агротехнические требования к их проведению	Единица измерения	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с.-х. машины, сцепки)	Норма выработки за 1 час	Количество часов на 1 га	Загрязнения ГСМ		Загрязнения энергии		Затраты топлива, МДж/га	Затраты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего МДж/га
						кг/га	МДж/га	кВтч/га	МДж/га		тракторы, автомобили	с.-х. машины, сцепки	
1. Основная обработка почвы													
Лущение стерни	га	2,0	ДТ-75 ЛДГ-102,90	2,90	0,69	8,2	432	—	—	42	178	324	976
Вспашка на 20–22 см	га	1,0	ДТ-75 ПЛН-4-35	0,74	1,35	15,4	811	—	—	82	348	128	1369
Всего							1243			124	526	452	2345
2. Внесение удобрений													
Подготовка удобрений	кг	740	вручную	329	2,25	—	—	—	—	74	—	—	74
Погрузка минеральных удобрений в смеситель	кг	740	МТЗ-80 ПФ-0,75	10100	0,07	0,9	47	—	—	4	6	1	58
Смешивание и загрузка в разбрасыватель	кг	740	Эл. дв. 30 кВтч СЗУ-20	10100	0,07	—	—	2,1	25	4	—	32	61
Транспортировка и внесение (до 3 км) минеральных удобрений	га	1,0	МТЗ-82 1РМГ-4	2,84	0,35	1,04	55	—	—	21	32	155	263

Технологические операции, основные агротехнические требования к их проведению	Единица измерения	Объем работы	Состав агрегата (двигатель с.-х. машины, сцепки)	Норма выработки за 1 час	Количество часов на 1 га	Загрязнения ГСМ		Загрязнения энергии		Загрязнения топлива, МДж/га	Загрязнения на механизмы и орудия, МДж/га		Всего МДж/га
						кг/га	МДж/га	кВтч/га	МДж/га		тракторы, автомобили	с.-х. машины, сцепки	
Погрузка органических удобрений	т	30	ДТ-75 ПБ-35	50	1,2	7,6	401	—	—	73	310	62	846
Транспортировка и внесение органических удобрений (до 3 км)	т	60	МТЗ-80 РСУ-5	8,1	7,4	64,8	3414	—	—	450	636	3411	7911
Укладка органических удобрений в бурты	т	60	ДТ-75 БН-10	-	7,4	66,6	3510	—	—	450	1909	266	6135
Всего							7427	—	25	1076	2893	3927	15348
3. Предпосевная обработка почвы													
Боронование зяби	га	1,0	ДТ-75М ЗБЗТ-1,0 (18х2) СП-16	7,0	0,14	1,6	84	—	—	8	36	100	228
Культивация с боронованием	га	2,0	МТЗ-80 КПС-4	2,29	0,87	0,8	464	—	—	53	75	146	738
Предпосевная обработка	га	1,0	МТЗ-80 РВК-3,6	2,0	0,50	2,05	108	—	—	30	43	356	537
Всего							656			91	154	602	1503

Технологические операции, основные агротехнические требования к их проведению	Единица измерения	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с.-х. машины, сцепки)	Норма выработки за 1 час	Количество часов на 1 га	Загрaты ГСМ		Загрaты энергии		Загрaты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего МДж/га
						кг/га	МДж/га	кВтч/га	МДж/га	тракторы, автомобили	с.-х. машины, сцепки	
4. Посев												
Погрузка семян и загрузка их в сеялку (норма 50 кг/га)	кг	100	вручную	528	0,018	—	—	—	—	6	—	6
Транспортировка семян (до 3 км)	кг	50	ГАЗ-53А	5000	0,01	0,11	6	—	—	1	1	8
Посев с междурядьями 60 см	га	1	МТЗ-80 СПЧ-6М	1,57	0,64	3,0	158	—	—	39	55	130
Всего							164			46	56	396
5. Уход за посевами												
Боронование до всходов	га	1	МТЗ-80 ЭБЗТ-1,0 СП-11	5,29	0,19	1,4	74	—	—	12	16	62
Боронование после всходов	га	1,0	МТЗ-80 ЗБЗТ-1 СП-11	3,64	0,27	1,5	79	—	—	16	23	97
Подготовка раствора пестицидов	т	0,3	МТЗ-80 АПР	12,5	0,024	0,5	26	—	—	2	2	14
												44

Технологические операции, основные агротехнические требования к их проведению	Единица измерения	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с.-х. машины, сцепки)	Норма выработки за 1 час	Количество часов на 1 га	Затраты ГСМ		Затраты энергии		Затраты труда, МДж/га	Затраты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего МДж/га
						кг/га	МДж/га	кВтч/га	МДж/га		тракторы, автомобили	с.-х. машины, сцепки	
Транспортировка раствора (до 3 км)	т	0,3	МТЗ-80 РЖГ-4Б	5,0	0,06	0,4	21	—	—	4	5	19	46
Заправка агрегатов	-	-	вручную	—	—	—	—	—	—	3	—	—	3
Внесение пестицидов	га	1,0	МТЗ-80 ОПШ-15	7,1	0,14	2,0	105	—	—	9	12	30	156
Обработка междурядий	га	2,0	МТЗ-80 КРН-4,2	1,43	1,40	5,0	264	—	—	85	120	169	638
Всего							569			131	178	391	1269
6. Уборка													
Скашивание с измельчением (урожайность 600 ц/га)	га	1,0	Е-281	0,33	3,03	25,5	1344	—	—	184	—	2618	4146
Транспортировка зеленой массы	т	30	МТЗ-80 2ПТС-4	4,3	7,0	36,0	1897	—	—	426	602	413	3338
	т	20	ЗИЛ-130	8,05	2,5	5,4	292	—	—	151	153	—	596
	т	10	ГАЗ-53А	5,0	2,0	3,0	162	—	—	121	94	—	377
Всего							3695			882	849	3031	8457
ИТОГО							13754	25		2350	4656	8533	29318

В приложении 7 находим, что энергоемкость 1 часа работы трактора ДТ-75 составляет 258 МДж/ч, а дискового лушильника ЛДГ-10 — 470 МДж/ч. Следовательно, при применении этого агрегата на лущении стерни энергетические затраты составят 502 МДж/га ($258 \text{ МДж/ч} \cdot 0,69 \text{ ч/га} + 470 \text{ МДж/ч} \cdot 0,69 \text{ ч/га} = 502 \text{ МДж/га}$).

При использовании агрегатов с электроприводом для перевода затрат электроэнергии в мегаджоули (МДж) используется соотношение $1 \text{ кВтч} = 12 \text{ МДж}$. Например, для измельчения и погрузки на 1 га посева минеральных удобрений (АИР-20) необходимо затратить 0,025 часов работы электродвигателя мощностью 20 кВтч. Следовательно, общий расход электроэнергии составит 0,5 кВтч ($20 \text{ кВтч} \cdot 0,025 \text{ ч}$) или 6 МДж ($12 \text{ МДж} \cdot 0,5 \text{ кВтч}$).

Энергетические затраты на внесение местных органических удобрений и мелиорантов определяются по фактически выполненным работам по их подготовке и внесению (навоз, включая погрузку и транспортировку от ферм, компостирование, разбрасывание; торф, включая заготовку, транспортировку, компостирование и внесение) в соответствии с региональными особенностями систем земледелия и животноводства.

Суммарные данные позволяют выявить и дать анализ затратам энергии, горюче-смазочных материалов и живого труда по отдельным операциям (лущение стерни, вспашка, безотвальное рыхление и т. д.) по циклам работ (основная обработка почвы, внесение удобрений и т. д.) и технологическому процессу в целом.

Расход совокупной энергии на приобретенные оборотные средства, такие как семена, минеральные удобрения, пестициды, мелиоранты, другие материалы, на производство которых затрачена общественная энергия, целесообразно приводить в отдельной таблице (табл. 49).

Энергоемкость автомобилей и энергетические затраты на автомобильный бензин можно рассчитывать исходя из энергетических эквивалентов на расходы топлива на 1 км пробега (прил. 10, 11). Например, пробег автомобиля ЗИЛ-130 при перевозке зеленой массы в количестве 20 т составил 14 км. Известно, что энергоемкость автомобиля на 1 км пробега составляет 2,07 МДж. Следовательно, общие затраты энергии, связанные с использованием автомобиля ЗИЛ-130, составят 29 МДж ($14 \text{ км} \times 2,07 \text{ МДж/км}$).

49. Схема расчета затрат совокупной энергии на оборотные материальные ресурсы (на примере возделывания кукурузы на силос)

Оборотные средства	Расход на 1 га	Энергетический эквивалент МДж/кг	Затраты энергии на оборотные средства, МДж/га
Семена — сортолинейный среднеранний гибрид, кг	50	65,0	3250
Минеральные удобрения, кг действующего вещества			
аммиачная селитра	140	86,8	12152
суперфосфат гранулированный	50	17,4	870
хлористый калий	130	8,8	1144
Пестициды, кг действующего вещества			
БИ-58 (рогор)	1,0	365	365
2,4-Д аминная соль	1,0	420	420
Итого			180201

Расход бензина для такого линейного пробега составит 3,26 кг (14 км × 0,233 кг/км), а с учетом работы на дорогах со сложным планом и движения по полю возрастет на 10–12 % и составит 3,65 кг или 197 МДж (3,65 кг × 53,96 МДж/кг).

Затраты энергии на семена собственного производства определяются исходя из фактического расхода энергии на их выращивание и подготовку к посеву. Например, выход семян ячменя с 1 га составил 25,4 ц, затраты энергии на их производство — 41,6 ГДж. Следовательно, энергетический эквивалент 1 кг семян составит 16,4 МДж/кг. При норме высева ячменя 240 кг/га расход совокупной энергии на семена составит 3936 МДж/га (240 кг × 16,4 МДж = 3936 МДж/га).

В итоговой таблице (табл. 50) суммируются затраты совокупной энергии на технологические процессы выращивания и уборки, а также затраты энергии на оборотные средства. При этом затраты совокупной энергии выражаются в фактических (МДж или ГДж) и относительных единицах (%). Итоговая таблица позволяет дать анализ структуры затрат как по периодам работ, так и по отдельным статьям.

В экспериментальной работе итоговые таблицы составляются и анализируются по каждому варианту.

**50. Схема анализа структуры затрат совокупной энергии на выращивание и уборку кормовых культур
по периодам и отдельным статьям (на примере возделывания кукурузы на силос)**

Периоды работ	С.-х. машины и движители	Семена	Удобрения				ГСМ	Электро-энергия	Пестициды	Живой труд	Итого	
			всего	в том числе							МДж/га	%
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O						
Основная обработка почвы	978	—	—	—	—	1243	—	—	124	2345	4,9	
Внесение удобрений	6820	—	14166	12152	870	1144	25	—	1076	29514	62,1	
Предпосевная обработка почвы	756	—	—	—	—	—	—	—	91	1503	3,2	
Посев	186	3250	—	—	—	164	—	—	46	3546	7,7	
Уход за посевами	569	—	—	—	—	569	—	785	131	2054	4,3	
Уборка	3880	—	—	—	—	3695	—	—	882	8457	17,8	
Итого: МДж/га	13189	3250	14166	12152	870	1144	25	785	2350	47519	100	
%	27,8	6,8	29,9	25,6	1,8	2,4	0,05	1,65	4,9	100	—	

Определение энергии и протеина в урожае кормовых культур может проводиться с использованием следующих методов:

– метод определения валовой и обменной энергии сухого вещества по данным химического анализа (наиболее доступен для оценки данных без проведения прямых опытов на животных).

Валовую энергию сухого вещества (МДж) определяют по сумме энергии сырого протеина (СП), сырого жира (СЖ), сырой клетчатки (СК) и сырых безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), используя их соответствующие энергетические коэффициенты по формуле («Методические рекомендации по изучению состава и питательности кормов СССР». М. : ВАСХНИЛ, 1985):

$$\text{ВЭ МДж} = 23,95 \text{ СП} + 39,77 \text{ СЖ} + 20,05 \text{ СК} + 17,46 \text{ БЭВ},$$

где СП, СЖ, СК и БЭВ – содержание (кг) сырых питательных веществ в 1 кг сухого вещества.

Валовую энергию можно также определить при сжигании сухого вещества корма в колориметрической бомбе энергометра (калориметра) в соответствии с «Методическими указаниями по оценке энергетической и протеиновой питательности кормов для жвачных» (М. : ВАСХНИЛ, 1988).

В кормопроизводстве важнейшим показателем качества корма является содержание в сухом веществе обменной энергии (ОЭ). Обменную энергию сухого вещества (МДж) растений и готовых кормов определяют по сумме энергии переваримого протеина (ПП), переваримого жира (ПЖ), переваримой клетчатки (ПК), переваримых БЭВ (ПБЭВ), используя их соответствующие энергетические коэффициенты по формуле («Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных». М. : Агропромиздат, 1985):

для крупного рогатого скота: $\text{ОЭ}_{\text{КРС}} = 17,5 \text{ ПП} + 31,2 \text{ ПЖ} + 13,7 \text{ ПК} + 14,8 \text{ ПБЭВ}$;

для овец: $\text{ОЭ}_{\text{О}} = 17,7 \text{ ПП} + 37,9 \text{ ПЖ} + 13,4 \text{ ПК} + 14,8 \text{ ПБЭВ}$;

для свиней: $\text{ОЭ}_{\text{С}} = 20,9 \text{ ПП} + 36,6 \text{ ПЖ} + 14,3 \text{ ПК} + 17,0 \text{ ПБЭВ}$;

для птицы: $\text{ОЭ}_{\text{П}} = 17,8 \text{ ПП} + 39,8 \text{ ПЖ} + 17,7 \text{ ПК} + 17,7 \text{ ПБЭВ}$;

для лошадей: $\text{ОЭ}_{\text{Л}} = 19,5 \text{ ПП} + 35,4 \text{ ПЖ} + 16,0 \text{ ПК} + 16,0 \text{ ПБЭВ}$,

где ПП, ПЖ, ПК, ПБЭВ – содержание (кг) переваримых питательных веществ в 1 кг сухого вещества.

– концентрацию обменной энергии в сухом веществе можно также определить по уравнению Аксельсона:

$$ОЭ = 0,73 \times ВЭ \text{ 1 кг СВ } [1 - (СК \times 1,05)],$$

где 0,73 – коэффициент обменности,

СК – сырая клетчатка (кг),

[1 – (СК × 1,05)] – коэффициент понижающего действия клетчатки на концентрацию энергии в сухом веществе;

– расчет обменной энергии сухого вещества может также проводиться по данным химического анализа и переваримости органического вещества, определенного методом *in vitro* (ГОСТ 2423-80) и *in vivo*.

Известно, что коэффициент переваримости органического вещества обычно совпадает с коэффициентом переваримости энергии. Поэтому можно определить ОЭ сухого вещества путем умножения показателя ее валовой энергии на коэффициент переваримости органического вещества (КП) и коэффициент обменности переваримой энергии (КОПЭ), который составляет 0,82 для КРС, 0,87 для овец, 0,92 для лошадей.

$$ОЭ = ВЭ \times КП \times КОПЭ \text{ МДж.}$$

Для оценки наиболее перспективных технологий, а также качества сырья новых культур, качество корма целесообразно проверять в зоотехнических балансовых опытах. Установленные на животных коэффициенты переваримости протеина, жира, клетчатки и БЭВ используются для определения концентрации обменной энергии по математическим регрессиям, приведенным выше для различных групп скота.

– содержание в сухом веществе сырого протеина определяется по данным химического анализа. Для определения количества переваримого протеина (ПП) проводят зоотехнические балансовые опыты или используют уравнение Паквея, позволяющее по содержанию в растительном сырье или кормах сырого протеина (СП) и сухого вещества (СВ) определить этот показатель:

$$ПП \text{ кг} = 0,885 \times СП \text{ кг} - 0,03 \times СВ \text{ кг.}$$

Пример: в 1 кг сухого вещества содержится 0,170 кг (170 г) сырого протеина. Содержание переваримого протеина составит $ПП \text{ кг} = 0,885 \times 0,17 - 0,03 \times 1 = 0,120 \text{ кг}$, или 12 %. Оптимизация энергопротеинового соотношения в растительном сырье — одна из важней-

ших задач полевого кормопроизводства, поскольку является важнейшим показателем эффективного использования кормов животными.

Оценка энергетической эффективности технологий выращивания культур проводится на основании показателей выхода с 1 га сухого вещества, переваримого протеина, валовой и обменной энергии. Для сравнения полученных результатов с имеющимися в научной литературе данными обменную энергию можно перевести в кормовые единицы по следующему соотношению:

$$\text{Корм. ед. в 1 кг СВ} = \text{ОЭ}^2 \text{ МДж/кг СВ} \times 0,0081.$$

Агроэнергетическая оценка эффективности технологий выращивания кормовых культур проводится по следующей форме (табл. 51).

51. Агроэнергетическая эффективность технологий выращивания кормовых культур

Показатели	Всего	В том числе основная продукция
Выход с 1 га:		
валовой энергии, МДж (ГДж)		
обменной энергии, МДж (ГДж)		
сухого вещества, ц		
переваримого протеина, ц		
кормовых единиц, ц		
Затраты совокупной энергии на 1 га, МДж (ГДж)		
Энергетический коэффициент (ЭК)		
Коэффициент энергетической эффективности кормов (КЭЭ)		
Энергоемкость 1 ц, МДж		
сухого вещества		
переваримого протеина		
кормовых единиц		

Энергетический коэффициент (ЭК), или коэффициент полезного действия технологии определяется делением валовой энергии (ВЭ) произведенного сухого вещества на затраты совокупной энергии (СЭ) при его производстве.

Коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) рассчитыва-

ют путем деления обменной энергии корма на затраты совокупной энергии при его производстве.

Технология возделывания культур считается эффективной, если коэффициент энергетической эффективности корма (КЭЭ) равен или больше единицы (≥ 1). При значении коэффициента меньше единицы (≤ 1) возделывание культуры нецелесообразно или ее удельный вес в структуре посевных площадей должен быть минимальным.

Энергоемкость 1 ц сухого вещества, переваримого протеина и кормовых единиц определяется делением затрат совокупной энергии на выход с 1 га соответствующего вещества.

Приращение валовой энергии (ПВЭ) на 1 га представляет разницу между полученной валовой энергией в основной и побочной продукции и затратами совокупной энергии на эту площадь.

Энергетическая эффективность кормовых севооборотов определяется средневзвешенным энергетическим коэффициентом, средневзвешенным коэффициентом энергетической эффективности и агробиоэнергетическим коэффициентом.

Поскольку эффективность использования пашни в севообороте во многом определяется технологиями заготовки кормов (сено, сенаж, силос и т. д.) и потерями в период хранения, необходимо, наряду с оценкой эффективности производства органического вещества, проводить оценку севооборотов по выходу энергии и протеина с готовым кормом.

Сбор сухого вещества исходной массы по каждой отдельной культуре севооборота определяют по среднегодовым фактическим данным; характер использования исходного сырья — сложившейся по отдельным регионам страны структурой кормления сельскохозяйственных животных. Выход сухого вещества в готовом корме находят по имеющимся экспериментальным данным или по средневзвешенным показателям (прил. 12); расчет валовой и обменной энергии — в соответствии с ранее названными методиками.

По аналогии с отдельными севооборотами может быть рассчитана энергетическая эффективность модельных вариантов структуры посевных площадей кормовых культур.

Важнейшим показателем эффективности севооборота и основных его систем (система чередования культур, система удобрения и обра-

ботки почвы, система защиты растений) является изменение энергетического баланса почвы. Поскольку основное количество агрономически значимой энергии содержится в органическом веществе почвы, можно оценивать эффективность севооборота с учетом изменения энергетического баланса $A_{\text{пах}}$ по формуле:

$$K = \frac{E_k \pm E_{\text{п}}}{E_c},$$

где K – комплексный коэффициент агробиоэнергетической эффективности севооборота;

E_k – выход валовой энергии кормов с 1 га севооборотной площади МДж (ГДж);

$\pm E_{\text{п}}$ – приращение или убыль энергии органического вещества почвы в среднем за 1 год ротации севооборота, МДж/га;

E_c – затраты совокупной энергии на выращивание культур и заготовку кормов на 1 га севооборотной площади, МДж.

Показатель $\pm E_{\text{п}}$ определяется в конце каждой ротации севооборота по разнице между конечным (E_k) и начальным (E_n) содержанием энергии в пахотном горизонте, МДж (ГДж):

$$\pm E_{\text{п}} = \frac{E_k \pm E_n}{n},$$

где n – количество лет ротации севооборота.

Начальное и конечное количество энергии органического вещества определяется по содержанию общего углерода ($C_{\text{общ.}}$) или гумуса и их энергетическим эквивалентам:

$$E_k, \text{ м} = C_{\text{общ.}} \text{ кг/га} \times E_y,$$

где E_y – энергетический эквивалент углерода или гумуса.

В том случае, если показатель $E_{\text{п}}$ имеет отрицательное значение, севооборот считается неэффективным и необходимы меры по стабилизации энергетического баланса пахотного горизонта. В принципе, севообороты и в целом системы земледелия должны быть построены таким образом, чтобы воспроизводство органического вещества в почвах не требовало специальных затрат, а являлось следствием мероприятий, направленных на повышение продуктивности агроценозов и защиту почв от деградации.

Коэффициент агробиоэнергетической эффективности севооборота позволяет дать оценку производимой общей органической массы по ее влиянию на производство кормов и плодородие почвы посредством поступления в $A_{\text{пах}}$ растительных остатков, органических и минеральных удобрений.

Севооборот считается эффективным в том случае, если коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) больше единицы ($>1,0$), а коэффициент агробиологической эффективности (К) равен или больше единицы ($\geq 1,0$). Достоверность агроэнергетической оценки должна соответствовать достоверности полученных данных по продуктивности культур и севооборотов на основании статистического анализа.

18. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК

Главной целью производственной проверки является оценка экономической эффективности научных исследований и пригодности разработки для практического использования. Обязательные условия при проведении производственной проверки — получение точных и сопоставимых результатов по основным параметрам, что достижимо только при полном соблюдении методики проверки.

Производственная проверка позволяет корректировать отдельные приемы и выявлять необходимость проведения дополнительных исследований по совершенствованию научной разработки. В производственной проверке приемы, изучаемые в отдельных полевых опытах, могут быть объединены в единую технологию возделывания кормовых культур.

Производственную проверку осуществляют в экспериментальных хозяйствах институтов, опытных станциях и других передовых хозяйствах, где организация и культура производства находятся на высоком уровне и имеется возможность проведения всего комплекса мероприятий и правильной организации учета.

В проверку включают лучшие варианты (приемы, технологии) полевого опыта, которые по комплексу хозяйственно-экономических и агротехнических показателей дали наибольший эффект и могут быть рекомендованы производству.

При ее проведении главное внимание уделяют определению основных показателей (урожайность, качество корма, затраты труда и т. д.), определяющих эффективность новой или усовершенствованной научной разработки.

Все агротехнические работы на всех вариантах производственной проверки проводят в одни сроки, одними и теми же машинами, за исключением изучаемых приемов, то есть с соблюдением принципа единственного различия.

Выбор поля. Участок для производственной проверки должен быть типичным для данного региона и соответствовать по основным параметрам плодородия месту проведения исследований. Если почвен-

ные и климатические условия региона разнообразны, то выбирают площадь с преобладающим типом почв.

Для проведения производственной проверки подбирают участок достаточно однородный по плодородию, одинаково используемый за два–три предыдущих года в системе севооборота.

Количество вариантов и повторений. Производственной проверке подлежат новые или усовершенствованные технологии (приемы), поэтому количество вариантов в опыте складывается из базовой и проверяемой технологии. Допускается включение дополнительного варианта, если он обеспечивает близкую к базовой продуктивность, но более экономичен. Варианты производственной проверки закладывают в двух–трех повторениях.

Контролем для оценки изучаемых вариантов (технологий) должен быть базовый вариант, то есть технология, которая включает рекомендованные для данной зоны передовые приемы возделывания кормовых культур.

Продолжительность производственной проверки результатов опытов с однолетними культурами — один–два года, с многолетними — два–три года в зависимости от количества лет использования травостоев. В случае сложившихся экстремальных погодных (или других) условий производственную проверку необходимо повторить или продлить.

Площадь производственной проверки. Для проверки разработки в производственных условиях выделяют выводное поле или поле севооборота. Ширина делянки должна быть кратной захвату орудий, применяемых при посеве, уходе за посевом и уборке (5–10 м и более), длина — в зависимости от размера делянки. Общий размер делянки должен быть таким, чтобы все работы можно было механизировать, но не менее 0,1 га (1000 м²). При комплексной оценке технологий, включающих приготовление различных видов кормов и проведение опытов на животных, размер делянки увеличивают в соответствии с потребностями в кормовой массе.

Наблюдения и учет урожая. Необходимыми элементами исследований при проведении производственной проверки являются: агрохимическая характеристика почвы; структура урожая и ботанический состав травостоев; определение сухого вещества; урожайность зеленой

массы и сухого вещества, сбор кормовых единиц; химический анализ растений и расчет энергетической питательности корма; фактические затраты в новом и базовом вариантах.

Учет урожая проводят по делянкам сплошным способом, данные обрабатывают статистически.

Расчет экономической эффективности. Превышение чистого дохода разработанной технологии над чистым доходом базовой составляет экономическую эффективность новой разработки (Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских работ. М., 1984). Экономическую эффективность рассчитывают по формуле:

$$\mathcal{E} = (Вн - Сн) - (Вб - Сб),$$

где \mathcal{E} – экономическая эффективность разработанной технологии или приема в расчете на 1 га, руб.;

Вн и Вб – стоимость валовой продукции в новом и базовом вариантах в закупочных ценах с 1 га, руб.;

Сн и Сб – производственные затраты в новом и базовом вариантах в расчете на 1 га, руб.

Целесообразно также оценивать технологии выращивания кормовых культур на основе анализа биоэнергетических показателей: энергетического коэффициента, коэффициента энергетической эффективности, а также энергоемкости производства сухого вещества, кормовой единицы, переваримого протеина.

На основе расчетов затрат совокупной энергии по периодам и циклам выполнения сельскохозяйственных работ показывают, какой удельный вес в структуре затрат занимают затраты по видам работ (семена, удобрения, уборка урожая и т. д.) и за счет снижения каких затрат можно получить урожай на уровне базового варианта (см. раздел «Агроэнергетическая оценка технологий и севооборотов»). В тех случаях, когда новая технология (прием) по сравнению с базовой не дает превышения по сбору кормов, но обеспечивает значительное (на 15 % и более) снижение затрат, необходимо указать конкретные затраты на единицу продукции и дать структуру себестоимости кормов по изучаемым вариантам.

После проведения производственной проверки составляется соответствующий акт.

19. ДОКУМЕНТАЦИЯ И ОТЧЕТНОСТЬ

В полевом опыте информация о выполнении запланированных работ на опытных участках, данные полученных результатов учетов и наблюдений, их анализ и обобщение должны быть тщательно записаны в соответствующую документацию. В обязательном порядке отмечаются также погодные условия проведения опыта. Вся информация должна быть объективна, точна, полна по содержанию и записана в хронологическом порядке.

Первичная документация ведется в виде полевого дневника, который содержит схематический план полевого опыта, размещение повторностей и делянок, схему опыта, агротехнические мероприятия в опытный период, систему применения удобрений и средств защиты растений, результаты учетов и наблюдений. Полевые дневники находятся у ответственных исполнителей опыта, которые отвечают за достоверность и правильность их заполнения в полевых условиях. В полевых условиях для записи большого объема информации по биометрическим показателям, засоренности, учету вредителей и болезней и т. д. можно использовать вспомогательные рабочие тетради. При выполнении комплексных исследований в длительных опытах дневники опытных работ и наблюдений ведутся ответственными исполнителями по каждому направлению исследований. При проведении полевых работ можно пользоваться карточками с планами опытного участка, схемами опыта, ротационными таблицами, системами удобрений, обработки почвы, защиты растений и т. д.

Основным сводным документом полевого опыта является полевой журнал, который содержит всю информацию, полученную в период проведения исследований. Полевой журнал не реже одного раза за декаду заполняют на основе первичных документов и хранят в помещении, исключающем его утрату. Контроль за достоверностью данных, полнотой и своевременностью заполнения дневников и журналов полевого опыта осуществляются руководителями задания и научного подразделения.

Журнал заполняется исполнителем опыта и его научно-техническим помощником на основе первичных документов (дневники, рабочие тетради и т. д.) в соответствии с указанными формами. Кроме

указанных в журнале форм исполнитель при необходимости может составлять и заполнять дополнительные таблицы, отражающие специфику опыта. Журнал подписывается исполнителем опыта и лицом, заполнявшим журнал. В случае смены исполнителей, указывается, какую часть исследований проводил каждый из них и документ подписывается совместно. Случайные механические ошибки в записях удостоверяются подписями научного сотрудника-исполнителя и научно-технического помощника с объяснением конкретной причины ошибки и исправления записи. Правильное ведение журнала регулярно проверяется руководителями НИР, отдела и лаборатории с указанием даты и результата проверки и ежегодно представляется комиссии при приемке опыта; хранится в отделе (лаборатории) у ответственного исполнителя и после окончания работы сдается в архив.

Формы дневников и журналов полевого опыта разрабатываются в научных подразделениях и утверждаются методической комиссией научного учреждения. При выдаче исполнителям дневники и журналы должны быть пронумерованы, прошнурованы и опечатаны за подписью ученого секретаря научного учреждения.

По итогам научно-исследовательской работы составляют ежегодные и заключительные отчеты с выводами и предложениями по решению поставленных проблем. Практические предложения должны проходить проверку в производственных условиях и, после подтверждения положительных результатов, рекомендованы для практического применения.

Заключительные отчеты подписываются руководителями НИР, ответственными исполнителями, утверждаются руководителями научных учреждений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова. – М. : Наука, 1975. – 656 с.
2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.
3. Глуховцев В. В., Кириченко В. Г., Зудилин С. Н. Практикум по основам научных исследований в агрономии. – Самара, 2005. – 247 с.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1979. – 416 с.
5. Доспехов Б. А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка данных. – М. : Колос, 1972. – 207 с.
6. Единые методические указания по оценке эффективности систем защиты сельскохозяйственных культур от болезней, вредителей и сорняков / ВАСХНИЛ, Отд-ние защиты растений; ВНИИ защиты растений. – М., 1979. – 55 с.
7. Защита кормовых культур от болезней, вредителей и сорняков: методические указания / Г. П. Кутузов, Н. С. Каравянский, Ю. И. Каньгин [и др.]. – М. : ВАСХНИЛ, 1990. – 64 с.
8. Методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов и технологий выращивания кормовых культур / Ю. К. Новоселов, Г. Д. Харьков, А. С. Шпаков [и др.]; ВАСХНИЛ. – М., 1989. – 72 с.
9. Методические рекомендации по проведению полевых опытов с кукурузой / Ф. С. Филеев, В. С. Циков, В. И. Золотов [и др.]. – Днепропетровск, 1980. – 54 с.
10. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич; АН СССР, Науч. совет по проблеме «Биол. основы рацион. использования, преобразования и охраны растит. мира»; Советский нац. ком. по междунар. биол. программе. – Ленинград : Наука, Ленингр. отд-ние, 1968. – 143 с.
11. Методические указания по оценке энергетической и протеиновой питательности кормов для жвачных животных / ВАСХНИЛ, Отд-ние кормопроизводства / Н. Г. Григорьев [и др.]. – М. : ВАСХНИЛ, 1988. – 52 с.

12. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Новоселов, В. Н. Киреев, Г. П. Кутузов [и др.]. – М. : Россельхозакадемия, 1997. – 156 с.

13. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю. К. Новоселов, В. Н. Киреев, Г. П. Кутузов [и др.]. – М. : ВИК, 1983. – 197 с.

14. Методические указания по разработке кормовых севооборотов интенсивного типа / Ю. К. Новоселов, А. С. Шпаков [и др.]; ВАСХНИЛ; ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 1986. – 21 с.

15. Методические указания по сбору и хранению проб атмосферных осадков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1967. – 20 с.

16. Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов / отв. ред. чл.-корр. АН СССР проф. Н. А. Красильников. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1966. – 216 с.

17. Методы исследований в адаптивно-ландшафтном растениеводстве / Н. Г. Ковалев, Д. А. Иванов, В. А. Тюлин, В. П. Сутягин. – Москва–Тверь : Агросфера, 2007. – 280 с.

18. Методы почвенной микробиологии и биохимии : учеб. пособие по спец. «Агрохимия и почвоведение» / И. В. Асеева [и др.]; под ред. Д. Г. Звягинцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 302 с.

19. Методы почвенной микробиологии и биохимии : учеб. пособие для почв. и агрохим. спец. ун-тов и с.-х. вузов / Д. Г. Звягинцев, И. В. Асеева, И. П. Бабьева, Т. Г. Мирчинк; под ред. Д. Г. Звягинцева. – М. : Изд-во МГУ, 1980. – 224 с.

20. Методы стационарного изучения почв : сборник статей / АН СССР, Науч. совет по проблемам биогеоценологии и охраны природы, Ин-т эволюц. морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова. – М. : Наука, 1977. – 296 с.

21. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных : справ. пособие / А. П. Калашников, Н. И. Клейменов, В. Н. Баканов [и др.]; под ред. А. П. Калашникова, Н. И. Клейменова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 352 с.

22. Образцов А. С. Методические рекомендации по прогнозированию, планированию и оптимизации технологий получения запланиро-

ванной урожайности кормовых культур. – М. : ВНИИ кормов, 1987. – 167 с.

23. Образцов А. С. Общая классификация и взаимосвязь научных исследований // Вестник РАСХН. – 1998. – № 1. – С. 32–36.

24. Основы опытного дела в растениеводстве / В. Е. Ещенко, М. Ф. Трифонова, П. Г. Копытко [и др.]; под ред. В. Е. Ещенко и М. Ф. Трифоновой. – М. : Колос, 2009. – 268 с.

25. Перегудов В. Н. Математическая обработка данных полевого опыта // Полевой опыт / под ред. П. Г. Найдина. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Колос, 1967. – С. 153–241.

26. Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Колос, 1968. – 496 с.

27. Попович И. В. Методика экономических исследований в сельском хозяйстве. – М. : Экономика, 1982. – 217 с.

28. Практикум по земледелию / Б. А. Доспехов, И. П. Васильев, А. М. Туликов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1987. – 382 с.

29. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Стратонович [и др.]; под ред. И. С. Кауричева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1980. – 272 с.

30. Проведение научных исследований на мелиорированных землях избыточно увлажненной части СССР : методические указания / ВАСХНИЛ, Всерос. НИИ с.-х. использ. мелиорир. земель; В. А. Богомолов [и др.]. – М. : ВНИИМЗ, 1984. – 163 с.

31. Семенов В. А. Полевой опыт в аграрной науке (новая концепция). – М. : РАСХН, 2004. – 32 с.

32. Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. – Пер. с англ. В. Н. Перегудова. – М. : Изд с.-х. литературы, журналов и плакатов, 1961. – 502 с.

33. Справочник по кормопроизводству. – М. : Угрешская типография, 2014. – 375 с.

34. Уишарт Дж., Сандерс Г. Основы методики полевого опыта. – Пер. с англ. В. В. Алпатова, Л. Л. Балашева. – М. : Изд. иностр. литературы, 1958. – 205 с.

35. Унифицированные методы анализа вод / под общ. ред. д-ра хим. наук, проф. Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1971. – 375 с.
36. Физико-химические методы исследования почв / Н. Г. Зырин, Д. С. Орлов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1964. – 348 с.
37. Шпаков А. С. Методология оценки и моделирования систем полевого кормопроизводства по критериям оптимальности использования энергии и вещества // Программа и методика проведения научных исследований по полевому кормопроизводству на 2001–2005 гг. – М., 2001. – С. 5–42.
38. Щерба С. В. Закладка и проведение полевого опыта // Полевой опыт / под ред. П. Г. Найдина. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Колос, 1968. – С. 41–111.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Значения t-критерия Стьюдента на 5, 1 и 0,1%-ном уровнях значимости

Число степеней свободы	Уровень значимости		
	0,05	0,01	0,001
1	12,71	63,66	—
2	4,30	9,93	31,60
3	3,18	5,84	12,94
4	2,78	4,60	8,61
5	2,57	4,03	6,86
6	2,45	3,71	5,96
7	2,37	3,50	5,41
8	2,31	3,36	5,04
9	2,26	3,25	4,78
10	2,23	3,17	4,59
11	2,20	3,11	4,44
12	2,18	3,06	4,32
13	2,16	3,01	4,22
14	2,15	2,98	4,14
15	2,13	2,95	4,07
16	2,12	2,92	4,02
17	2,11	2,90	3,97
18	2,10	2,88	3,92
19	2,09	2,86	3,88
20	2,09	2,85	3,85
21	2,08	2,83	3,82
22	2,07	2,82	3,79
23	2,07	2,81	3,77
24	2,06	2,80	3,75
25	2,06	2,79	3,73
26	2,06	2,78	3,71
27	2,05	2,77	3,69
28	2,05	2,76	3,67
29	2,05	2,76	3,66
30	2,04	2,75	3,65
50	2,01	2,68	3,50
100	1,98	2,63	3,39
∞	1,96	2,58	3,29

Значение критерия F на 5%-ном уровне значимости (вероятность 95 %)

Степени свободы для меньшей дисперсии (знаменателя)	Степени свободы для большей дисперсии (числителя)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	249	252	253
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38	19,39	19,41	19,45	19,47	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	8,74	8,64	8,58	8,56
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,77	5,70	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78	4,74	4,68	4,53	4,44	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,27	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,84	3,75	3,71
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,63	3,57	3,41	3,32	3,28
8	5,32	4,40	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,34	3,28	3,12	3,03	2,98
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,13	3,07	2,90	2,80	2,76
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,97	2,91	2,74	2,64	2,59
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,86	2,79	2,61	2,50	2,45
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,69	2,50	2,40	2,35
13	4,64	3,80	3,41	3,18	2,96	2,92	2,84	2,77	2,72	2,67	2,60	2,42	2,32	2,26
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,53	2,35	2,24	2,19
15	4,54	3,60	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59	2,55	2,48	2,29	2,18	1,12
16	4,49	3,93	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,24	2,13	2,07
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50	2,41	2,38	2,19	2,08	2,02
18	4,41	3,5	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,15	2,04	1,98
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43	2,38	2,31	2,11	2,00	1,94
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,28	2,08	1,96	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,05	1,93	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,47	2,40	2,35	2,30	2,23	2,03	1,91	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,45	2,38	2,32	2,28	2,20	2,00	1,88	1,82
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,18	1,98	1,86	1,80
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,41	2,34	2,25	2,24	2,16	1,96	1,84	1,77
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	1,95	1,82	1,76
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	1,91	1,78	1,72
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21	2,12	2,09	1,89	1,76	1,69
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,07	2,00	1,79	1,66	1,59
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,02	1,95	1,74	1,60	1,52
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	2,10	2,03	1,97	1,92	1,85	1,63	1,48	1,39

Значение критерия F на 1%-ном уровне значимости (вероятность 99 %)

Степени свободы для меньшей дисперсии (знаменателя)	Степени свободы для большей дисперсии (числителя)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	24	50	100
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	59,81	6022	6056	6106	6234	6302	6334
2	98,49	99,01	99,17	99,25	99,30	99,33	99,34	99,36	99,38	99,40	99,42	99,46	99,48	99,49
3	34,12	90,81	23,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,05	26,60	26,35	26,23
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,54	14,37	13,93	13,69	13,57
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,45	10,27	10,15	10,05	9,89	9,47	9,24	9,13
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,31	7,09	6,99
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,71	6,62	6,47	6,07	5,85	5,75
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,19	6,03	5,91	5,82	5,67	5,28	5,06	4,96
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,62	5,47	5,35	5,26	5,11	4,73	4,51	4,41
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,65	5,39	5,21	5,06	4,95	4,85	4,71	4,33	4,12	4,01
11	9,85	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,88	4,74	4,63	4,54	4,40	4,02	3,80	3,70
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,65	4,50	4,39	4,30	4,16	3,78	3,56	3,46
13	9,07	6,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,44	4,30	4,18	4,10	3,96	3,59	3,37	3,27
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,43	3,21	3,11
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,67	3,29	3,07	2,97
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,78	3,69	3,61	3,45	3,18	2,96	2,86
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,45	3,08	2,86	2,76
18	5,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,85	3,71	3,60	3,51	3,37	3,00	2,78	2,68
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,68	3,52	2,43	3,30	2,92	2,70	2,63
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,23	2,86	2,63	2,53
21	7,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,65	3,51	3,40	3,31	3,17	2,80	2,58	2,47
22	7,94	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,12	2,75	2,53	2,72
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,07	2,70	2,48	2,37
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,25	3,17	3,03	2,66	2,44	2,33
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,46	3,32	3,21	3,13	2,99	2,62	2,40	2,29
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,17	3,09	2,96	2,58	2,36	2,25
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,76	3,53	3,36	3,23	3,11	3,03	2,90	2,52	2,30	2,18
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,06	2,98	2,84	2,47	2,24	2,13
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,88	2,80	2,66	2,29	2,05	1,94
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,18	3,02	2,88	2,78	2,70	2,56	2,18	1,94	1,81
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,20	2,99	2,82	2,69	2,59	2,51	2,36	1,98	1,73	1,59

Учет воды по трапецеидальному водосливу

Напор воды, см	Ширина порога водослива, см							
	30		40		50		60	
	л/с	м ³ /ч	л/с	м ³ /ч	л/с	м ³ /ч	л/с	м ³ /ч
1,2	0,7	2,5	1,0	3,6	1,2	4,3	1,5	5,7
1,5	1,6	3,6	1,4	5,0	1,8	6,4	2,1	7,4
2,0	1,6	5,8	2,1	7,7	2,6	9,5	3,2	11,4
2,5	2,2	7,9	3,0	10,8	3,7	13,2	4,4	15,9
3,0	2,9	10,4	3,9	13,1	4,8	17,4	5,8	20,9
3,5	3,7	13,3	4,9	17,6	6,1	21,9	7,3	26,3
4,0	4,5	16,2	6,0	21,6	7,5	26,8	9,0	32,2
4,5	5,3	19,1	7,1	25,6	8,9	32,0	10,7	38,4
5,0	6,2	22,3	8,3	29,9	10,4	37,5	12,5	45,0
5,5	7,2	25,9	9,6	34,6	12,0	43,3	14,4	51,9
6,0	8,2	29,5	11,0	39,6	13,7	49,3	16,4	59,2
6,5	9,3	33,5	12,4	44,6	15,4	55,6	18,5	66,7
7,0	10,7	38,5	13,8	49,7	17,3	62,2	20,7	74,6
7,5	11,5	41,4	15,3	55,1	19,2	68,9	23,0	82,7
8,0	12,7	45,7	16,9	60,8	21,1	75,9	25,3	91,1
8,5	13,9	50,0	18,5	66,6	23,1	83,2	27,7	99,8
9,0	15,1	54,4	20,1	72,4	25,2	90,6	30,2	109,0
9,5	16,4	59,0	21,8	79,1	27,3	98,3	32,8	118,0
10,0	17,7	63,7	23,6	84,0	29,4	106,0	35,4	127,0
10,5			25,4	91,4	31,7	114,0	38,1	137,0
11,0			27,5	98,0	34,0	123,0	40,8	147,0
11,5			29,1	104,8	36,4	131,0	43,6	157,0
12,0			31,0	111,6	38,8	138,0	46,5	167,0
12,5			33,0	118,8	41,2	148,0	49,5	178,0
13,0			35,0	126,0	43,7	187,0	52,5	189,0
13,5					46,3	166,0	55,5	200,0
14,0					48,9	176,0	58,6	211,0
14,5					51,5	185,0	61,8	222,0
15,0					54,2	195,0	65,0	234,0
15,5					56,0	205,0	68,3	246,0
16,0					59,7	216,0	71,6	258,0
16,5					62,5	225,0	75,0	270,0
17,0					65,4	236,0	78,4	282,0

Приложение 5

Учет воды при помощи насадок квадратного сечения

Разница уровней на рейках, см	Ширина выходного отверстия, см					
	14		20		25	
	л/с	м ³ /ч	л/с	м ³ /ч	л/с	м ³ /ч
1,0	9,2	33,1	16,4	59,0	25,6	92,0
1,5	9,75	35,1	19,92	71,7	31,1	112,0
2,0	10,3	37,1	23,45	84,4	36,6	131,2
2,5	13,15	47,3	25,91	93,3	40,45	145,6
3,0	16,0	57,6	28,37	102,1	44,3	159,5
3,5	17,22	69,1	30,58	110,1	47,8	172,1
4,0	18,45	66,4	32,8	118,1	51,3	184,1
4,5	19,57	70,4	34,77	125,2	54,35	195,7
5,0	20,7	74,5	36,74	132,3	57,4	206,6
5,5	21,7	78,1	38,46	138,5	60,1	216,4
6,0	22,7	81,7	40,18	144,6	62,8	226,1
6,5	23,55	84,8	41,74	150,3	65,25	234,9
7,0	24,4	87,8	43,3	155,9	67,7	243,7
7,5	25,25	90,0	44,85	161,5	70,1	252,4
8,0	26,1	94,0	46,4	167,0	72,5	261,0
8,5	26,89	96,8	47,8	172,1	74,7	268,9
9,0	27,68	99,6	49,2	177,1	76,9	276,8
9,5	28,41	102,3	50,5	181,8	78,94	284,2
10,0	29,15	104,9	51,8	186,5	80,98	291,5
10,5	29,87	107,5	53,15	191,3	83,04	298,9
11,0	30,6	110,2	54,5	196,2	85,1	306,4
11,5	31,26	112,5	55,6	200,2	86,9	313,2
12,0	31,92	114,9	56,7	204,1	88,7	320,3
12,5	32,06	115,4	57,71	207,8	90,5	327,4
13,0	32,21	116,0	59,0	212,4	92,3	334,6
13,5	33,35	120,1	60,17	216,6	94,05	338,6
14,0	34,5	124,2	61,34	220,8	95,8	344,9
14,5	35,1	126,4	62,42	224,7	97,55	351,2
15,0	35,7	128,5	63,5	228,6	99,3	357,3

Расчет энергоёмкости энергетических средств и сельскохозяйственных машин

Расчет энергоёмкости энергетических средств и сельскохозяйственных машин проводится в соответствии с «Методикой энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве» (М. : ВИМ, 1995. 95 с.), с «Нормами и нормативами для планирования механизации и электрификации в отраслях АПК». Составители: М. В. Шахмаев, В. И. Юркин. (М. : Агропромиздат, 1988. 591 с.).

Примеры:

1. Энергоёмкость, приходящаяся на один час работы силовой машины (трактора, комбайна, самолета), определяется по зависимости:

$$E_T = \frac{M_T \cdot \alpha_T}{100} \left(\frac{a_T}{T_{HT}} + \frac{a_{TK} + a_{TT}}{T_{ЗТ}} \right),$$

где M_T – масса силовой машины, кг;

α_T – энергетический эквивалент силовой машины, равный 120 МДж/кг; a_T , a_{TK} , a_{TT} – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт силовой машины, %;

T_{HT} , $T_{ЗТ}$ – нормативная и зональная годовая загрузка силовой машины, ч.

Для трактора К-701: $M_T = 12500$ кг; $\alpha_T = 120$ МДж/кг; $a_{TK} + a_{TT} = 16,3$ %; $a_T = 10$ %; $T_{HT} = T_{ЗТ} = 890$ час/год.

$$E_T = \frac{12500 \cdot 120}{100} \left(\frac{10}{890} + \frac{16,3}{890} \right) = 443 \text{ МДж/ч}$$

2. Энергоёмкость, приходящаяся на один час работы машины или сцепки, определяется по зависимости:

$$E_M = \frac{M_M \cdot \alpha_M}{100} \left(\frac{a_M}{T_{HM}} + \frac{a_{MT}}{T_{ЗМ}} \right),$$

где M_M — масса машины (сцепки), кг;

α_M — энергетический эквивалент машины (сцепки), равный 104 МДж/кг;

a_M — отчисления на реновацию машины (сцепки), %;

a_{MT} — отчисления на текущий ремонт машины (сцепки), %;

T_{HM} , $T_{ЗМ}$ — нормативная и зональная годовая загрузка машины (сцепки), ч.

Для плуга ПЛН-3-35: $M_M = 522$ кг; $\alpha_M = 104$ МДж/кг; $a_M = 12,5$ %; $a_{MT} = 14$ %; $T_{TH} = T_{ЗМ} = 40$ час/год. Тогда:

$$E_M = \frac{522 \cdot 104}{100} \left(\frac{12,5}{40} + \frac{14}{40} \right) = 360 \text{ МДж/ч.}$$

Расчет энергоемкости энергетических средств и сельскохозяйственных машин

Техника	Масса, кг	Полные энергоза- траты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая аморти- зация, %	Годовые затраты энергии на теку- щий ре- монт и техоб- служива- ние, %	Энерго- емкость, МДж	Энерге- тический эквива- лент, $\frac{\text{МДж}}{\text{ч} \cdot \text{кг}}$
Тракторы							
К-701	12500	1500000	890	10,0	16,3	443	0,0354
Т-150к	7595	904200	500	10,0	18,5	515	0,0683
Т-151к	8200	984000	500	10,0	18,5	561	0,0684
Т-150	6975	837000	855	12,5	17,9	298	0,0427
Т-130-130А	14300	1716000	1945	9,1	19,0	510	0,0356
Т-130Б	15520	1862400	1945	9,1	19,0	554	0,0357
Т-70С	4400	528000	1065	12,5	13,7	130	0,0295
Т-28х4М	2770	332400	1095	14,3	12,5	81	0,0292
Т-28зс4М-С	2875	345000	1095	14,3	12,5	84	0,0292
Т-25А	1790	213600	565	14,3	9,7	91	0,0508
Т-25АК	2400	288000	565	14,3	9,7	122	0,0508
Т-16М	1600	192000	760	14,3	9,7	61	0,0387
ДТ-75	6440	772000	910	12,5	17,9	258	0,0400
ДТ-75Б	7540	904800	910	12,5	17,9	302	0,0400
ДТ-75М	6530	783600	910	12,5	17,9	262	0,0401
ДТ-75Н	5700	684000	910	12,5	17,9	229	0,0401
ДТ-75С	7450	894000	910	12,5	17,9	299	0,0401
ДГ-75Т	5927	711240	910	12,5	17,9	238	0,0402
ШЗ-6А/АМ	3147	377640	1100	10,0	14,9	85	0,0270
ЛТЗ-55	2380	285600	1095	10,0	14,9	65	0,0273
ДГЗ-155	5300	636000	1095	10,0	14,9	145	0,0274
МТЗ-50	2750	330000	1095	10,0	14,9	75	0,0273
МТЗ-80	3160	379200	1095	10,0	14,9	86	0,0272
МТЗ-82	3370	404400	1095	10,0	14,9	92	0,0273
Самходные машины							
СК-5	8000	960000	115	11,1	10,3	1786	0,2233
СК-6П	9750	1170000	85	11,1	10,3	2946	0,3022
КСКУ-6	12284	1474080	100	12,5	10,3	3361	0,2736

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергоза- траты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая аморти- зация, %	Годовые затраты энергии на теку- щий ре- монт и техоб- служива- ние, %	Энерго- емкость, МДж	Энерге- тический эквива- лент, МДж <u>ч · кг</u>
КСК-100	12000	1440000	150	12,5	10,3	2189	0,1824
КСК-100А	10945	1313400	150	12,5	10,3	1996	0,1824
РКС-6	5300	636000	150	12,5	10,3	967	0,1824
КС-6	9200	1104000	150	12,5	10,3	1678	0,1824
КС-6Б	5955	714600	150	12,5	10,3	1086	0,1824
СПС-4,2	6350	762000	150	12,5	10,3	1158	0,1824
Е-281	8600	1032000	150	12,5	10,3	1568	0,1823
Е-281С	5260	631200	150	12,5	10,3	959	0,1823
Плуги							
ПЛН-3-35	522	54288	40	12,5	14,0	360	0,6897
ПЛН-4-35	710	73840	205	12,5	14,0	95	0,1338
ПЛН-5-35	800	83200	100	12,5	14,0	220	0,2750
ПЛН-6-35	1230	127920	230	12,5	14,0	147	0,1195
ПЛ-5-35	1500	156000	185	12,5	14,0	223	0,1487
ПН-6-35	727	75608	200	12,5	14,0	100	0,1376
ПН-8-35	1970	204880	230	12,5	14,0	236	0,1198
ПТК-9-35	2800	291200	240	12,5	14,0	322	0,1150
ПТК-6/7-4С	1197	124488	230	12,5	12,0	133	0,1111
ПКГ-5-40В	2050	213304	230	12,5	14,0	227	0,1107
ПГ-4,5	3210	333840	230	12,5	12,0	356	0,1109
ПЛН-6-35	1230	127920	230	12,5	14,0	147	0,1195
ПБН-100А	2050	213304	200	12,5	14,0	283	0,1380
ПКБ-75	1659	172536	200	12,5	14,0	229	0,1380
ПБН-75	884	91936	200	12,5	12,0	113	0,1278
ПДН-4М	2000	208000	200	12,5	14,0	254	0,1270
ПГП-7-40	2130	221520	200	16,6	14,0	342	0,1606
Дисковые бороны, луцильники							
ЛДГ-20	5514	573456	120	14,2	7,0	1013	0,1837
ЛДГ-15	3765	391560	120	14,2	7,0	692	0,1838
ЛДГ-15,А	3850	400400	120	14,2	7,0	707	0,1836

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергозатраты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая амортизация, %	Годовые затраты энергии на текущий ремонт и техобслуживание, %	Энергоемкость, МДж	Энергетический эквивалент, $\frac{\text{МДж}}{\text{ч} \cdot \text{кг}}$
ЛДГ-10	2450	254800	115	14,2	7,0	470	0,1918
ЛДГ-10А	2480	257920	115	14,2	7,0	475	0,1915
ЛДГ-5	1060	110240	110	14,2	7,0	212	0,2000
БДТ-7	3500	364000	150	14,2	7,0	514	0,1468
БД-10	3700	384800	120	14,2	7,0	680	0,1838
БД-10Б	4200	436800	120	14,2	7,0	771	0,1836
БДН-3	698	72592	175	14,2	7,0	88	0,1261
БДТ-3	1328	138112	150	14,2	7,0	195	0,1472
БДТ-2,5	1676	201000	150	14,2	7,0	284	0,1695
БДМ-2,5	2900	348000	150	14,2	7,0	492	0,1696
Культиваторы, зубовые бороны, катки, выравниватели, снегозадержатели							
КПС-4	969	100776	160	14,2	12,5	168	0,1734
КРН-4,2	871	90584	200	14,2	12,5	121	0,1389
КРН-5,6	896	93184	200	14,2	12,5	124	0,1384
КОН-2,8ПМ	885	92040	170	14,2	9,0	125	0,1424
КФ-5,4	1155	120120	170	14,2	9,0	164	0,1420
КШП-8	1360	141440	170	14,2	9,0	193	0,1419
УСМК-5,4	1610	167440	170	14,2	9,0	229	0,1422
УСШ-5,4	763	79852	65	14,2	9,0	283	0,3709
УСМК-5,4Б	1610	167440	170	14,2	9,0	229	0,1422
БЗСС-1,0	35	3640	120	20,0	20,0	12	0,3429
БЗТС-1,0	42	4368	85	20,0	20,0	21	0,5000
БД-8	1428	148512	170	14,2	7,0	185	0,1297
ЗВДП-6	1835	190840	145	12,5	5,0	230	0,1253
ЗКВГ-1,4	834	86736	75	12,5	5,0	202	0,2422
ЗКЕБ-1,5	2696	280384	170	16,6	20,0	604	0,2240
ЗБС-1,5	22	2288	95	20,0	11,0	8	0,3636
ЗБП-0,6а	112	11648	95	20,0	11,0	38	0,3393
ЗБЗТ-1	35	3640	95	20,0	11,0	12	0,3428
ЗКК-6	1460	151840	95	14,2	9,0	370	0,2534

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергозатраты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая амортизация, %	Годовые затраты энергии на текущий ремонт и техобслуживание, %	Энергоемкость, МДж	Энергетический эквивалент, $\frac{\text{МДж}}{\text{ч} \cdot \text{кг}}$
РЗК-3,6	2690	279760	95	14,2	10,0	713	0,2651
ДЗ-42	6910	829200	1300	13,7	43,0	362	0,0524
ФПУ-4,2	940	97760	180	14,2	9,0	126	0,1340
ПФП-2	2500	260000	180	17,0	4,5	411	0,1644
СЗУ-2,5	835	86840	160	14,2	7,0	115	0,1377
Машины для противозерозийной обработки							
КПГ-2-150	860	89440	190	14,2	16,0	142	0,1651
КПГ-2,2	1030	107120	195	14,4	16,0	166	0,1612
КПГ-250	495	51480	200	14,2	16,0	78	0,1576
КПШ-5	900	93600	170	14,2	16,0	166	0,1844
КПШ-9	2200	228800	151	14,2	16,0	458	0,2082
КПЭ-3,8А	1000	104000	195	14,2	16,0	233	0,2330
КШ-3,6А	442	45968	125	14,2	12,0	96	0,2172
КПГ-4	353	36712	125	14,2	16,0	89	0,2521
БИГ-3А	1100	114400	65	14,2	6,0	356	0,3236
Сцепки							
С-11	700	72800	125	14,2	7,0	123	0,1757
С-18	1120	116480	125	14,2	7,0	198	0,1768
СГ-21	1800	187200	125	14,2	7,0	317	0,1761
СП-ПА	915	95160	100	14,2	7,0	202	0,2208
СП-16А	1762	183248	135	14,2	7,0	288	0,1634
Машины для подготовки и внесения удобрений							
АШ-10	6000	624100	175	20,0	12,0	1141	0,1902
ЗАУ-3	1600	166400	175	14,2	6,0	292	0,1200
ИСУ-4	340	35360	195	25,0	12,0	67	0,1971
МВУ-0,5	220	22880	120	20,0	12,0	61	0,2773
МВУ-5	2050	213200	120	20,0	12,0	568	0,2771
МВУ-12	3300	343200	120	20,0	12,0	915	0,2773
НРУ-0,5	800	83200	120	20,0	12,0	222	0,2775
ПРТ-10	4000	416000	110	20,0	11,0	1172	0,2930

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергоза- траты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая аморти- зация, %	Годовые затраты энергии на теку- щий ре- монт и техоб- служива- ние, %	Энерго- емкость, МДж	Энерге- тический эквива- лент, МДж <u>ч · кг</u>
ПРТ-10-1	3750	390000	110	20,0	11,0	1135	0,3027
ПТУ-4	1400	145600	110	14,5	12,0	351	0,2505
РЖГ-4	2470	256880	280	20,0	14,0	312	0,1263
РЖГ-8	3640	278560	305	26,0	14,0	422	0,1159
ПГМГ-4	1460	151840	110	20,0	12,0	442	0,3027
ПШГ-4Б	1430	148720	110	20,0	12,0	433	0,3028
РМС-6	500	52000	120	14,2	5,0	92	0,1840
РГТ-4,2А	890	92560	215	20,0	12,0	138	0,1551
РОУ-5	2000	208000	140	20,0	11,0	461	0,2304
РПГМ-3,5	1875	195000	200	20,0	12,0	312	0,1664
РПН-4	2740	284960	285	20,0	11,0	310	0,1131
РУМ-5	2030	211120	175	20,0	12,0	386	0,1901
РУМ-8	3310	344240	175	20,0	12,0	629	0,1900
РУН-15Б	2146	223184	95	20,0	12,0	752	0,3503
РУП-8	3310	344240	175	20,0	12,0	629	0,1900
СЗУ-20	2158	225472	185	25,0	12,0	451	0,2080
СТТ-10	2500	260000	175	20,0	20,0	594	0,2376
ТЗК-30А	5115	531960	175	22,7	6,0	872	0,1705
УШ-3	2575	267800	175	25,0	25,0	765	0,2971
Машины для приготовления растворов, протравливания семян трав, внесения гербицидов, ядохимикатов							
АИР-20	1886	196144	80	20,0	11,0	760	0,4030
АПЖ-12	2200	228800	80	20,0	11,0	887	0,4032
АПР	1485	154440	80	20,0	11,0	598	0,4027
ЗДВ-1,8	770	80080	80	20,0	11,0	310	0,4026
ЗЖВ-3,2	850	88400	80	16,0	11,0	298	0,3505
«Мобитокс»	1520	158080	80	20,0	11,0	613	0,4033
ОВТ-1	2363	245752	120	20,0	11,0	635	0,2687
ОВТ-1А	820	85280	120	20,0	11,0	220	0,2683
ОВТ-1В	2780	289120	120	20,0	11,0	747	0,2687

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергоза- траты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая аморти- зация, %	Годовые затраты энергии на теку- щий ре- монт и техоб- служива- ние, %	Энерго- емкость, МДж	Энерге- тический эквива- лент, МДж <u>ч · кг</u>
ОПШ-15	850	88400	130	20,0	11,0	211	0,2482
ОН-400	320	33280	120	20,0	11,0	86	0,2679
ПОМ-630	785	81640	120	20,0	11,0	211	0,2688
ПОУ	600	62400	100	20,0	11,0	193	0,3217
ПСШ-3	122	12688	100	12,5	11,0	171	0,4016
ПСШ-5	360	37440	100	20,0	11,0	116	3222
СТК-5	1004	104416	100	14,2	7,0	326	3247
ОПШ-3200	2375	247000	100	20,0	12,0	790	3326
Погрузчики							
АС-2УМ	880	91520	600	14,2	6,0	31	0,0352
ЗМ-60	1200	124800	600	14,2	6,0	42	0,0350
ЗСА-40	1180	122720	600	20,0	10,0	61	0,0517
ПВ-35	1250	130000	600	14,2	10,0	52	0,0416
ПЗ-0,85	2400	249600	600	14,2	10,0	101	0,0421
ПФ-0,5	300	31200	600	14,2	6,0	11	0,0367
ППУ-0,5	200	20800	600	14,2	6,0	7	0,3500
ПУ-0,5	1630	169520	600	14,2	6,0	69	0,0423
ПЭ-0,8Б	2400	249600	600	14,2	10,0	101	0,0421
ПС-10	1034	107536	600	20,0	11,0	56	0,0542
ЩЦ-250	6693	696072	600	14,2	6,0	234	0,0350
ПКУ-0,8	1158	120432	600	14,2	10,0	45	0,0389
ПС-80	540	56160	600	14,2	6,0	19	0,0352
ПГ-0,2А	1275	132600	600	14,2	10,0	53	0,0416
ПШП-7	58	6032	600	14,2	6,0	2	0,0345
ПЭ-Ф-1А	1890	196560	600	14,2	10,0	79	0,0418
СНТ-2ДБ	1180	122720	300	14,2	10,0	99	0,0839
СПС-4,2	6350	660400	300	14,2	10,0	533	0,0839
Т1Ж-30	744	77480	300	14,2	6,0	52	0,0699
УЗСА-40	1180	122720	300	14,2	6,0	83	0,0703
УСА-10	795	82680	300	14,2	6,0	57	0,0717

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергозатраты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая амортизация, %	Годовые затраты энергии на текущий ремонт и техобслуживание, %	Энергоемкость, МДж	Энергетический эквивалент, $\frac{\text{МДж}}{\text{ч} \cdot \text{кг}}$
ЭО-262	364	37856	300	14,2	6,0	25	0,0687
ЭО-2621А	5700	592800	300	14,2	6,0	399	0,0700
Сеялки							
СЗ-3,6	1450	150800	90	12,5	7,0	327	0,2250
СЗУ-3,6	1480	153900	190	12,5	7,0	231	0,1561
СЗП-3,6	1870	194480	80	12,5	7,0	474	0,2535
СУПН-8	1126	117104	65	12,5	3,0	279	0,2478
СШ-6М	820	84280	65	12,5	3,0	203	0,2476
ССТ-12А	1125	117000	40	12,5	3,0	493	0,4382
СЗС-2,1М	1120	116480	65	12,5	3,0	278	0,2482
СО-4,2	1370	142480	80	12,5	7,0	347	0,2533
ЗКОН-2,8	840	87360	80	12,5	7,0	213	0,2536
СН-4Б	1013	105560	80	14,2	6,0	267	0,2636
СУПН-8А	1332	138528	65	12,5	3,0	330	0,2477
СЗТ-3,6	1830	190320	80	12,5	7,0	464	0,2536
СКОН-4,2	770	80080	80	12,5	7,0	195	0,2532
СЛТ-3,6	1850	192400	80	12,5	7,0	469	0,2535
Комбайны прицепные, косилки и другая кормоуборочная техника							
Херсонец-7 (КШ1-1,4В)	3770	452000	150	14,2	10,0	730	0,1936
БМ-6А	3000	312000	150	14,2	10,0	503	0,1677
ККУ-2А	4440	461760	195	14,2	12,0	620	0,1396
ППК-5	2500	260000	130	14,2	12,0	524	0,2096
ОП-15 (прицепной)	2800	291200	130	14,2	12,0	587	0,2096
ОП-15 (стационарный)	2100	218400	130	14,2	12,0	440	0,2095
УКВ-2	2335	245024	135	14,2	12,0	476	0,2039
КИР-1,5	1800	187200	120	14,2	12,0	409	0,2272
ЖРС-4,9	1215	126360	150	16,6	9,0	216	0,1778
ЖВН-6	1170	121660	150	16,6	9,0	208	0,1778
КИР-1,5Б	1800	187200	150	16,6	12,0	357	0,1983

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергозатраты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая амортизация, %	Годовые затраты энергии на текущий ремонт и техобслуживание, %	Энергоемкость, МДж	Энергетический эквивалент, $\frac{\text{МДж}}{\text{ч} \cdot \text{кг}}$
КДД-4	670	69680	175	14,2	12,0	104	0,1552
КПС-5Г	6750	702000	175	14,2	12,0	1051	0,1557
КПП-3	1200	124800	175	14,2	12,0	187	0,1557
КПИ-2,4	3915	407160	175	14,2	12,0	610	0,1558
Е-301	5550	577200	175	14,2	12,0	864	0,1557
КС-2,1	250	26000	150	14,2	12,0	43	0,1720
КС-Ф-2,15	225	24400	150	14,2	12,0	41	0,1822
КСС-2,6	3860	401440	100	14,2	12,0	1052	0,2725
КРН-2ДА	530	55120	150	16,0	12,0	103	0,1943
ГПИ-6	436	45344	160	16,6	7,0	67	0,1537
ГВР-6	1050	109200	115	16,6	7,0	223	0,2124
ВЦН-Ф-3	420	43680	150	16,6	7,0	69	0,1643
ГВЦ-3	420	43680	165	16,6	7,0	62	0,1476
ГВК-6А	900	93600	168	16,6	16,6	185	0,2055
ПК-16А	5150	535600	225	14,2	7,0	505	0,0962
ПС-1,6	1900	197600	225	16,0	8,0	211	0,1105
КУН-10	1455	151320	150	16,0	8,0	242	0,1663
ПКК-Ф-90	6000	624000	150	16,0	12,0	1165	0,1941
ФН-1,4	1350	137280	150	14,2	14,2	260	0,1926
АВМ-1,5А	38000	3952000	940	16,6	16,6	1396	0,0367
Машины для обработки семян трав							
БД-6	1200	124800	120	14,2	12,0	272	0,2267
К-218/1	1000	104000	120	11,1	11,1	192	0,1920
КЗС-10Ш	26679	2774616	120	14,2	14,0	6520	0,2444
КОС-0,5	25000	2600000	120	14,2	14,0	6110	0,2436
КПКУ-75	7300	759200	120	16,0	12,0	1771	0,2427
КСП-25	30000	3120000	120	14,2	12,0	6812	0,2271
МС-4,5	2100	218400	120	11,1	11,1	404	0,1924
ОВП-20А	1970	204880	120	14,2	14,0	452	0,2294
ОВС-25	1915	199160	120	11,1	11,1	368	0,1922

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергоза- траты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая аморти- зация, %	Годовые затраты энергии на теку- щий ре- монт и техоб- служива- ние, %	Энерго- емкость, МДж	Энерге- тический эквива- лент, МДж ч · кг
Транспортные средства							
ППТ-3А	240	24960	120	16,6	12,0	56	0,2333
СМ-4	2150	223600	120	11, I	11,1	414	0,1926
СМЩ-0,4	1200	124800	120	11,1	11,1	231	0,1925
ТЗК-30	3300	343200	120	22,7	6,0	820	0,2485
ГКБ-8526	2950	306800	650	14,2	13,0	128	0,0434
ЗАУ-3	1600	166400	500	14,2	6,0	67	0,0419
МЖТ-6	3100	322400	500	20,0	12,0	206	0,0665
ОЗТП-8572	6200	644800	500	14,2	13,0	351	0,0566
ПРТ-10	1317	136968	500	14,2	13,0	75	0,0569
ПСЕ-12,5	2100	218400	410	14,2	13,0	145	0,0690
ПСЕ-20	3450	358800	410	14,2	13,0	238	0,0694
1ПТС-2	855	88920	600	14,2	13,0	40	0,0468
1ПТС-4	1700	176800	600	14,2	13,0	80	0,0471
1ПТС-9	4850	504400	600	14,2	13,0	229	0,0472
2ПТС-4- 8875	1880	195520	650	14,2	13,0	82	0,0436
2ПТС-4М	1354	140816	650	14,2	13,0	59	0,0436
2ПТС-6	1880	195520	650	14,2	13,0	82	0,0436
ПУН-5	750	78000	500	14,2	13,0	42	0,0560
ПУН-6	850	8850	500	14,2	13,0	48	0,0565
ПВК-5	3250	338000	500	14,2	13,0	184	0,0566
ЛС-8	950	98800	500	14,2	13,0	54	0,0568
2ПТО-8	5390	556000	500	14,2	13,0	302	0,0560
Разравниватели							
Д-606	870	90480	1300	13,7	43,0	39	0,0444
ДЗ-42	6910	829200	1300	13,7	43,0	362	0,0524
БН-100	791	82264	1300	13,7	43,0	36	0,0455
БН-100А	310	32240	1300	13,7	43,0	14	0,0452
ДЗ-109	2500	260000	1300	13,7	43,0	53	0,0212

Продолжение приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергоза- траты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая аморти- зация, %	Годовые затраты энергии на теку- щий ре- монт и техоб- служива- ние, %	Энерго- емкость, МДж	Энерге- тический эквива- лент, МДж <u>ч · кг</u>
Д-606	525	54600	1300	13,7	43,0	24	0,0457
Д-532С	2855	296920	1300	13,7	43,0	61	0,0214
Д-694	4720	490880	1300	13,7	43,0	101	0,0214
МК-21	19600	2352000	1300	13,7	43,0	1026	0,0523
Кусторезы							
ББ-4	4585	476840	450	21,5	16	397	0,0866
Д-Л4	3440	357860	450	21,5	16	298	0,0866
ДП-24	2680	279500	450	21,5	16	232	0,0866
Корчеватели-собиратели							
ДП-8А	9218	958672	430	16,0	32,8	1088	0,1180
Д-695	3930	408720	430	16,0	32,8	464	0,1181
МП-7А	23110	2403440	430	16,0	32,8	2728	0,1180
МП-8	9220	958880	430	16,0	32,8	1088	0,1180
Корчеватели роторные							
МТП-2Б	13000	1352000	430	16,0	32,8	1534	0,1180
МТП-29 (са- моходный)	13900	1445600	430	16,0	32,8	1640	0,1180
МТП-81	16235	1688440	430	16,0	32,8	1916	0,1180
Камнеуборочные машины							
ПСК-1	4000	416000	670	20	20	248	0,0620
МКП-1,5	2460	255840	670	20	20	153	0,0622
УКП-0,6	1600	166400	670	20	20	99	0,0619
Подборщики-валкователи							
ПДО-2	2100	218400	500	21,8	16	165	0,0786
ПВ-1,5	2540	264160	500	21,8	16	200	0,0787
Подборщики камней и пней							
МТТ-12А	3460	359840	500	25,6	16	299	0,0854
КПТ-1М автокран с грейфером	24900	2589600	500	25,6	16	2154	0,0865

Окончание приложения 7

Техника	Масса, кг	Полные энергоза- траты машин, МДж	Годовая загрузка, ч	Годовая аморти- зация, %	Годовые затраты энергии на теку- щий ре- монт и техоб- служива- ние, %	Энерго- емкость, МДж	Энерге- тический эквива- лент, МДж <u>ч · кг</u>
Планировщики							
Д-719	6000	624000	500	21,7	11,1	408	0,0680
ПВМ-5,0	5000	520000	500	21,7	11,1	340	0,0680
ПВМ-3,0	3000	312000	500	28,7	14,3	268	0,0893
П-6	6000	624000	500	21,7	11,1	409	0,0682
ДЗ-603	6000	624000	500	21,7	11,1	409	0,0682
Фрезерные машины по разработке закустаренных и залесенных земель							
НТП-42А	5430	564720	400	21,8	16	534	0,0983
НТП-44А	6300	655200	400	21,8	16	621	0,0986
НТП-45	18000	1872000	400	21,8	16	1769	0,0983
ФКН-1,7	2534	363764	400	21,8	16	243	0,0959
Кавальероразравниватель							
МК-21	3800	395200	400	18,8	14,3	327	0,0861
Насосные станции передвижные							
СНП-50/80	2680	321600	800	12,5	5,0	70	0,0261
СНП-75/100	3700	444000	800	12,5	5,0	97	0,0262
СНП-100/80	2560	307200	800	12,5	5,0	67	0,0262
Дождевальные машины и установки							
ДДН-70	700	72800	1160	12,5	2,5	9	0,0129
ДДН-100	1620	168480	1168	12,5	2,5	22	0,0136
УДС-25	1547	160888	1100	12,5	2,5	26	0,0168
КИ-50	5680	590720	1238	12,5	2,5	72	0,0127
ДКШ-64	5465	568360	1100	12,5	2,5	78	0,0143
ДДА-100МА	4240	440960	1373	12,5	2,5	48	0,0113
«Фрегат»	11500	1196000	1100	12,5	2,5	163	0,0142
ДФ-120	13880	1443520	1206	12,5	2,5	179	0,0142

Энергетические эквиваленты на оборотные средства производства

Вид	Форма	Энергетический эквивалент, МДж
Энергоносители	Бензин автомобильный, кг	53,96
	Бензин авиационный, кг	54,90
	Дизельное топливо, кг	52,70
	Керосин тракторный, кг	52,90
	Керосин, кг	52,60
	Керосин авиационный, кг	53,00
	Соляровое масло, кг	52,40
	Топливо печное, кг	48,90
	Электрическая энергия, квт	12,00
Промышленные минеральные удобрения (кг действующего вещества)	Аммиачная селитра	86,8
	Аммиак жидкий	67,7
	Карбамид (мочевина)	93,7
	Сульфат аммония	71,2
	Суперфосфат порошковидный	13,8
	Суперфосфат гранулированный	17,4
	Хлористый калий	8,8
	Комплексные удобрения (нитроаммофоска и др.)	51,5
Мелиоранты	Известковые материалы, т	3800
Пестициды (кг действующего вещества)	Гербициды:	
	Смешивающиеся масла	420
	Смачивающийся порошок	264
	Гранулы	364
	Инсектициды:	
	Смешивающиеся масла	365
	Смачивающийся порошок	258
	Гранулы, dust	312
	Фунгициды:	
	Смешивающиеся масла	273
	Смачивающийся порошок	117
	Гранулы, dust	217
	Медный купорос	86

Окончание приложения 8

Семена (кг)	Пшеница яровая	34,8
	Пшеница озимая	34,4
	Рожь озимая	35,1
	Ячмень	34,4
	Овес	33,8
	Просо	35,5
	Зернобобовые	37,0
	Подсолнечник	34,9
	Кормовые корнеплоды	37,0
	Люцерна	127,0
	Клевер луговой	110,0
	Клевер ползучий	145,0
	Тимофеевка луговая	77,0
	Кострец безостый	100,0
	Овсяница луговая	59,0
	Ежа сборная	90,0
	Райграс пастбищный	33,0
	Овсяница тростниковая	50,0
	Овсяница красная	73,0
	Мятлик луговой и полевица гигантская	88,0
Житняк	63,0	
Райграс однолетний	19,0	

Приложение 9

Гибридные семена кукурузы первого поколения, МДж на 1 кг сухого вещества

Типы гибридов	Группа спелости гибридов				
	ранне-спелые	средне-ранние	средне-спелые	средне-поздние	поздне-спелые
Простые: сортолинейные и линейно-сортовые	79	65	62	60	57
3-линейные	70	62	58	56	54
Двойные межлинейные и смешанные	51	49	47	47	44

Приложение 10

Энергетические эквиваленты на конный и ручной инвентарь

Инвентарь	МДж/час на 1 кг массы
Сеялка конная	0,038
Плуги, окучники конные	0,024
Косилки, жатки конные	0,030
Борона, катки конные	0,045
Телеги, сани, повозки	0,010
Грабли, волокуши, прессы конные	0,036
Лопаты, вилы, грабли, косы и т.п.	0,012

Приложение 11

Энергетические эквиваленты на трудовые ресурсы

Профессия	МДж/чел-час
Трактористы-машинисты, комбайнеры	60,8
Шоферы	60,3
Электромонтеры, операторы	61,3
Полевые рабочие	33,3
Скотники	41,2
Инженерно-технические работники	67,0
Слесари-операторы	41,3

Приложение 12

**Линейные нормы расхода автомобильного бензина, дизельного топлива
и сжиженного газа на 100 км пробега автомобильного транспорта**
(утверждены Распоряжением Минтранса РФ № АМ 23-Р от 14.03.2008)

Марка автомобиля	Норма расхода, л
УАЗ-451, -451Д	15
ГАЗ-51, -51А	21,5
ГАЗ-52, -53-03 и модификации	22
ГАЗ-53, -53А и модификации	25
ЗИЛ-164, -164А и модификации, ЗИЛ-130, -130В	31
ЗИЛ-133Г, -133Г1 и модификации	38
Урал-355, -355М, -35МС	30
Урал-377	44
ГАЗ-52-07	30
ГАЗ-53-07	37
ЗИЛ-138	42
МАЗ-200, МАЗ-200П	27,5
МАЗ-516	26
ЯАЗ-210	47
КРАЗ-219	47
КамАЗ-5320	25.
ГАЗ-52-06 с полуприцепом ГАЗ-744	26
ЗИЛ-ММЗ-164АН с полуприцепом ММЗ-584Б	36
ЗИЛ-157В и модификации (одиночные тягачи)	38,5
ЗИЛ-157В, ЗИЛ-157КВ с полуприцепом ММЗ-584Б	43,5
ЗИЛ-131В (одиночный тягач)	41
КАЗ-608	30
ГАЗ-САЗ-2500, ГАЗ-САЗ-3502, ГАЗ-САЗ-53Б	29
ГАЗ-93	23
САЗ-3503, САЗ-3504	26
ЗИЛ-ММЗ-585	36

Примечание: плотность автомобильного бензина — 720–750 кг/м³

Энергоемкость автомобилей и линейные расходы автомобильного бензина на 1 км пробега

Марка автомобиля	Масса, кг	Грузоподъемность, кг	Энергоемкость, МДж/км	Норма расхода бензина, кг/км
ГАЗ-САЗ-53Б	3750	3500	1,62	0,188
ЗИЛ-ММЗ-4502, ЗИЛ-130	4800	5800	2,07	0,233
МАЗ-533Б (бортовой)	6725	8000	2,91	0,195
КамАЗ-5320 (бортовой)	7080	8000	3,10	0,188

Примечание: Линейные нормы расхода бензина увеличиваются в зимнее время в южных районах до 5 %, в северных — до 15 %; при работе на дорогах со сложным планом — до 10 %, при перевозке грузов, требующих пониженной скорости — до 10 %, при движении по полю — до 20 %.

Нормативные потери сухого вещества в процессе заготовки и хранения кормов

Культура, фаза, влажность сырья	Вид корма	Потери сухого вещества, %
Злаковые травы	корма искусственной сушки	6–8
	сено полевой сушки	30–35
	сено, высушенное активным вентилированием	20–25
	сенаж	12–18
	силос из провяленных трав	18–20
	силос из провяленных трав с химическим консервированием	5–10
	силос из свежескошенной массы	20–30
	силос из свежескошенной массы с химическим консервированием	12–30

Научное издание

Методические основы полевых опытов с кормовыми культурами /
А. С. Шпаков, Ю. К. Новоселов, Г. Д. Харьков, В. Т. Воловик, Л. А. Трузина,
Т. В. Прологова, А. Н. Уланов, Н. А. Ларетин, С. Е. Сергеева, Т. Г. Усольцева.
– Москва : ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2024. – 332 с.

The methodological basis of field experiments with forage crops /
A. S. Shpakov, Yu. K. Novoselov, G. D. Kharkov, V. T. Volovik,
L. A. Truzina, T. V. Prologova, A. N. Ulanov, N. A. Laretin, S. E. Sergeeva,
T. G. Usoltseva. – Moscow, 2024. – 332 p.

Компьютерная верстка *Н. И. Георгиади*
Техническое редактирование *Г. Н. Свечникова*

Подписано в печать 17.06.2024 г.
Бумага «Снегурочка». Формат 60×84 1/16.
Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 19,5. Тираж 500. Заказ № 023

ФГБОУ ДПО РАКО АПК
т. 700-13-40, 700-08-40 доб. 111
111622, Москва, ул. Оренбургская, 15б

ISBN 978-5-93098-144-5

